

Vergleich zweier Kavitätenpulverstrahlgeräte im Bezug auf Fokussierung  
sowie Abtrag des Pulverstrahls

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Esther Caroline Levermann (geb. Bödeker)  
aus Gießen

Gießen 2008

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde  
des Fachbereichs Medizin des Universitätsklinikum Gießen und Marburg  
GmbH, Standort Gießen  
Leiter: Prof. Dr. J. Klimek

Gutachter: Prof. Dr. Martin Jung  
Gutachter: PD. Dr. Markus Balkenhol  
Tag der Disputation: 09.06.2009

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>9</b>
2.1	Konventionelle Präparationstechnik . . . . .	9
2.2	Kinetische Kavitätenpräparation . . . . .	11
2.2.1	Oberflächenkonditionierung . . . . .	13
2.2.2	Auswirkungen und Oberflächenveränderungen durch Bearbeitung mit KCP . . . . .	14
2.2.3	Indikationen und Vorteile der Kavitätenpulverstrahlgeräte . . . . .	17
2.2.4	Differenzierung zwischen Kavitätenpulverstrahl- und Prophylaxe- Pulverstrahl-Gerät . . . . .	19
2.3	Aufbau von Kavitäten-Pulverstrahl-Geräten . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>21</b>
3.1	Gerätebeschreibung . . . . .	22
3.1.1	Kinetik-Partikelstrahler Primus-CPE . . . . .	22
3.1.2	Kinetik Partikelstrahler RondoFlex . . . . .	23
3.2	Versuch zur Bestimmung der Streuung des Pulverstrahls . . . . .	25
3.2.1	Breite des Strahls bei punktförmiger Bestrahlung eines Objektes . .	25
3.2.2	Breite des Strahls bei der Präparation einer Furche . . . . .	27
3.3	Versuch zur Bestimmung der Abtragseffizienz . . . . .	31
3.3.1	Herstellung der Schmelzproben . . . . .	31
3.3.2	Abtragsleistung im Dentin . . . . .	33
3.3.3	Versuchsdesign und Versuchsgruppen . . . . .	33

3.4	Relevanz für die klinische Anwendung - Vergleich der Kavitätenpulverstrahltechnik mit der konventionellen Methode . . . . .	35
3.4.1	Probenherstellung . . . . .	36
3.4.2	Aufbau und Durchführung des Versuches . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>38</b>
4.1	Einfluss der einzelnen Arbeitsparameter auf die Streuung des Pulverstrahles	38
4.2	Breite des Pulverstrahls bei der Präparation einer Kavität in einer planen Schmelzoberfläche . . . . .	44
4.3	Bestimmung der Abtragseffizienz . . . . .	47
4.3.1	Abtragsleistung im Schmelz . . . . .	47
4.3.2	Abtragsleistung im Dentin . . . . .	50
4.3.3	Vergleich der Abtragsleistung im Modus Nass/ Trocken . . . . .	52
4.4	Relevanz für die klinische Anwendung - Vergleich der Kavitätenpulverstrahltechnik mit der konventionellen Methode . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>60</b>
5.1	Methode . . . . .	60
5.1.1	Bestimmung der Breite des Pulverstrahls . . . . .	60
5.1.2	Bestimmung der Abtragseffizienz . . . . .	62
5.1.3	Gestaltung okklusaler Kavitäten . . . . .	63
5.2	Ergebnisse . . . . .	64
5.2.1	Bestimmung der Breite des Pulverstrahles . . . . .	64
5.2.2	Bestimmung der Abtragseffizienz . . . . .	66
5.3	Relevanz für die klinische Anwendung . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>72</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>77</b>
<b>A</b>	<b>Tabellarische Darstellung der Messergebnisse</b>	<b>81</b>
<b>B</b>		<b>87</b>

# Abbildungsverzeichnis

3.1	Die Düsenspitze des Gerätes Primus-CPE ist integriert in eine Wasserzuführung mit seitlichen Austrittsöffnung an der Basis des Arbeitsteils. . .	23
3.2	Medienführung bei dem Gerät RondoFlex (Graphik KaVo Biberach) . . . .	24
3.3	Konventionelle Düsenspitze des Kavitätenpulverstrahlgerätes RondoFlex .	24
3.4	Bildstichprobe der präparierten Furchen; kleiner Teilstrich $\hat{=}$ $100\mu\text{m}$ . . . .	30
4.1	Verteilung der beobachteten horizontalen Durchmesser in Abhängigkeit von Gerät, Körnung und Abstand der Düse zur Oberfläche . . . . .	43
4.2	Verteilung der beobachteten vertikalen Durchmesser in Abhängigkeit von Gerät, Körnung und Abstand der Düse zur Oberfläche . . . . .	44
4.3	Verteilung der beobachteten Kavitätenbreiten in Abhängigkeit von Gerät und Körnung bei einem Düsenabstand von ca. 1 mm . . . . .	45
4.4	Verteilung des Schmelzabtrags in Abhängigkeit von Gerät und Körnung bei konstanter Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden . . . . .	48
4.5	Verteilung der Abtragsleistung im Dentin bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden getrennt für Gerät und Körnung . . . . .	50
4.6	Verteilung der Abtragsleistung im Schmelz bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden getrennt für Modus und Körnung bei dem Gerät Primus-CPE.	54
4.7	Verteilung der Abtragsleistung im Dentin bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden getrennt für Modus und Körnung bei dem Gert Primus-CPE.	56

# Kapitel 1

## Einleitung

Die substanzabtragende Bearbeitung der Zahnhartgewebe stellt eine der häufigsten zahnärztlichen Behandlungsmaßnahmen dar. Die Präparation erfolgt in der Regel mittels rotierender Instrumente. Bei der konventionellen Präparationstechnik wird Zahnhartsubstanz spanartig durch mit Schneiden ausgestattete rotierende Instrumente abgetragen. Je nach Indikation und Technik werden mit den rotierenden Instrumenten Drehzahlen von bis zu 120000 - 400000 Umdrehungen pro Minute erreicht [21]. In Abhängigkeit vom Restaurationsmaterial sowie Ausdehnung der gewünschten Präparation können geeignete Schleifkörper bzw. rotierende Instrumente gewählt werden. Vorteil der konventionellen Präparationstechnik ist unter anderem der direkte Kontakt zwischen Schleifkörper und Zahnhartsubstanz, wodurch das Herstellen von sehr exakten und definierten Präparationsformen gewährleistet werden kann. Dieser direkte Kontakt zwischen Schleifkörper und Zahnhartsubstanz ermöglicht auch einen effizienten, kontrollierbaren Substanzabtrag. Bei der Bearbeitung der Zahnhartsubstanz mit konventionellen Präparationstechniken kommt es durch den direkten Kontakt zur Zahnhartsubstanz zu Reibungswärme. Diese kann zu Pulpaschädigungen führen, sowie zur Entstehung von Mikrotraumata durch das präparationsbedingte Abscheren der Odontoblastenfortsätze.

Das Präparationsverfahren der „Air Abrasion“ bzw. die „Kinetische Ka-

vitätenpräparation“ (engl. KCP) wurde erstmals in den fünfziger Jahren von Robert Black eingeführt. Blacks Interesse galt vor allem dem Aspekt, Zähne effizient aber ohne Hitzeentwicklung, Vibration, Druck und Geräusche zu präparieren [5]. Da es für die damals eingesetzten Füllungsmaterialien und Techniken notwendig war, zur Verankerung der Füllungen mechanische Retentionsmöglichkeiten in Form von untersichgehenden Bereichen zu schaffen und zur gleichen Zeit die Entwicklung der sehr effizienten Luftturbine an Bedeutung gewann, geriet die Methode der kinetischen Kavitätenpräparation zunächst in den Hintergrund [13, 35]. Durch die Entwicklung der Säure-Ätz-Technik und die Entwicklung von adhäsiven Restaurationsmaterialien (Kompositen) ist es heute nicht mehr notwendig, mechanische Retentionen zu schaffen. Vielmehr geht das Bestreben dahin, minimalinvasiv zu arbeiten [15]. Man ist also bestrebt, nicht erkrankte Zahnhartsubstanz zu erhalten und so substanzschonend wie möglich zu arbeiten [30]. Das Ausmaß des Verlustes an gesunder Zahnhartsubstanz je nach Präparationstechnik und Füllungswerkstoff gewinnt durch den Aspekt der minimalinvasiven Verfahrensweise zunehmend an Bedeutung.

Die Verfügbarkeit dieser neuen Materialien und die steigenden Ansprüche der Patienten an eine schmerzlose, geräuscharme und stressfreie Behandlung haben dazu geführt, dass die Methode der kinetischen Kavitätenpräparation erneut entdeckt und weiter entwickelt wurde [36, 9, 3]. Bei der Air Abrasion wird durch beschleunigte Aluminiumoxidteilchen, die zielgerichtet auf die Zahnoberfläche aufprallen, Zahnhartsubstanz abgetragen. Im Vergleich zu den üblichen Turbinenpräparationen und auch den zahnärztlichen Winkelstückpräparationen (Mikromotorgetriebe) sind mit der Air Abrasion kleinere und weniger invasive Präparationen möglich, die zudem in ihrer Form auch günstige Voraussetzungen für einen Verbund zwischen dem Zahn und der Kompositrestauration aufweisen [30, 15]. Die oftmals für die Patienten unangenehmen Bohrgeräusche bleiben dabei aus und zugleich ist eine Behandlung mit Air Abrasion weniger schmerzhaft [3]. Die Auswirkungen von KCP auf die Haftungseigenschaften der zu behandelnden Zahnoberflächen und strukturellen Veränderungen der durch KCP angerauten Zahnhartsubstanz wurden in einer Vielzahl von Studien untersucht. Aus der Technik, in der dieses Verfahren z.B. bei der Behandlung von Metalloberflächen eingesetzt wird, ist bekannt, dass physikalische

Parameter wie Korngröße, Teilchengeschwindigkeit oder der Abstand von der zu bearbeitenden Oberfläche einen Einfluss auf die jeweilige Abtragsleistung der eingesetzten Geräte haben. In Bezug auf die Bearbeitung von Zahnoberflächen auf Basis dieses Verfahrens ist bisher wenig über den Einfluss der vorgenannten Arbeitsparameter bekannt.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss zweier KCP-Geräte hinsichtlich der Abtragsleistung bzw. der Effizienz unter Berücksichtigung der Parameter Partikelkörnung, Arbeitsmodus (feucht oder trocken) und Art der Zahnhartsubstanz (Schmelz, bzw. Dentin) miteinander zu vergleichen. Im Hinblick auf klinische Anwendungssicherheit sollte außerdem die Fokussierung, d.h. die Breite der Streuung des Pulverstrahls beider KCP-Geräte unter einheitlichen und praxisnahen Bedingungen untersucht und miteinander verglichen werden. Eine weitere Aufgabe war, die zur Präparation benötigte Zeit nach Anwendung der KCP- und konventionellen Präparationstechnik miteinander zu vergleichen.



## Kapitel 2

# Literaturübersicht

### 2.1 Konventionelle Präparationstechnik

Kann durch nichtinvasive Maßnahmen eine kariöse Zerstörung eines Zahnes nicht verhindert werden oder wird eine behandlungsbedürftige Karies diagnostiziert, so muss die erkrankte Zahnhartsubstanz entfernt werden. Dies erfolgt meist durch konventionelle Präparationstechnik mittels rotierender Instrumente.

#### Präparationsregeln

Ein Ziel der restaurativen Zahnheilkunde ist also die Entfernung von kariösen Zahnhartsubstanzen und die Restauration der daraus resultierenden Defekte, d.h. der entstehenden Kavitäten. R. Black teilte die Kavitäten in fünf Klassen ein und postulierte entsprechende Präparationsregeln. Die Zuordnung einer Kavität zu einer der Klassen erfolgte durch die Lokalisierung auf der Zahnoberfläche. Bei der Präparation einer Kavität müssen außerdem die Retentionsform, die Umrissform, die Widerstandsform und die Extensionsform beschrieben werden [33]. Die unter Berücksichtigung dieser Formen entwickelten Re-

geln galt es, unabhängig vom Restaurationsmaterial einzuhalten. Das Ziel bzw. die Regel Blacks, die Präparationsränder in die Zone der natürlichen Selbstreinigung bzw. in kariresistente Bereiche zu legen, besitzt heute nur noch eingeschränkte Gültigkeit. Auch die Excavation der Karies mittels rotierender Instrumente (Rosenbohrer) stellt einen Teil der Kavitätengestaltung dar. Heute ist man bestrebt, möglichst minimalinvasiv zu arbeiten. In erster Linie wird die Karies vollständig entfernt (excaviert) und die Kavität nur so weit ausgedehnt, dass das Restaurationsmaterial problemlos in die Kavität eingebracht werden kann, es nicht durch Abzugskräfte verloren geht oder durch Kaubelastung frakturiert. Ziel ist also, so substanzschonend wie möglich zu arbeiten [20]. Im Prinzip gibt es drei Möglichkeiten der Verankerung von Restaurationsmaterialien im Zahn: makroretentive, mikroretentive und chemisch-adhäsive Restaurationstechnik.

Die invasive Kariestherapie setzt eine genaue Kenntnis der Zahnhartgewebe, der Pulpa und deren Reaktionspotential voraus. Die Lokalisation, Größe und Form der Kavität wird zusätzlich von der Lage und Größe des kariösen Defektes bestimmt. Bei der konventionellen Kavitätenpräparation entstehen definierte Flächen und Grenzbereiche. Durch den direkten Kontakt des für die Präparation verwendeten Instrumentes mit der Zahnhartsubstanz, kann man beim Präparieren die Beschaffenheit der Zahnoberfläche ertasten und „spüren“. Dadurch ist man in der Lage, den Substanzabtrag relativ exakt zu bestimmen. Zur Präparation stehen verschiedene Winkelstücke zur Verfügung, die bei unterschiedlichen Drehzahlen zum Einsatz kommen. Die Kavitätenpräparation erfordert unterschiedliche rotierende Instrumente und unterschiedliche Drehzahlen. Es gilt dabei, die Maximaldrehzahl für bestimmte rotierende Instrumente zu beachten. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass bei hohen Umdrehungszahlen und starkem Druck erhebliche Reibungswärme und mechanische Belastungen entstehen können, die zu Irritationen des Pulpa-Dentin-Systems und zu einer Gefügebrauchung bzw. zu einem Härteabfall des Schmelzes führen [26]. Durch die entstehenden hochfrequenten Geräusche, die Vibration und die häufig beim Bearbeitungsvorgang entstehenden Schmerzen kann zudem zusätzlicher psychischer Stress für den Patienten entstehen. Bei der konventionellen Präparationstechnik mit rotierenden Instrumenten ist also zwingend auf eine ausreichende Wasserkühlung sowie eine tupfende Arbeitsweise zu achten. Bei den rotierenden Instrumenten unterscheidet man

höchsttourige (120.000-400.000 U/min), hoctourige (20.000-45.000 U/min), mitteltourige (4.500-20.000 U/min) und niedrigtourige (500-4500 U/min) Drehzahlbereiche. Die rotierenden Instrumente lassen sich nach der Art ihres abrasiven Prinzips differenzieren (Hartmetall, Diamanten, Steine). Hartmetallinstrumente sind Werkzeuge, deren Schneiden aus Stahl sind. Die Anordnung der Schneiden kann dabei sehr unterschiedlich sein (gerade, gewandelt, kreuzverzahnt). Die zweite Kategorie beschreibt Schleifinstrumente, die mit Diamantsplittern belegt und eine unregelmäßige Schleifgeometrie aufweisen. Die Steine lassen sich in der dritten Kategorie zusammenfassen. Sie bestehen meist aus Hartmetall, welches mit Aluminiumoxid oder Siliziumcarbid beschichtet ist. Auch diese Gruppe weist eine unregelmäßige Schleifgeometrie auf. In den einzelnen Kategorien unterscheiden sich die Instrumente im Wesentlichen in Form und Größe. Genormt nach ISO - Größen erfolgt der Einsatz eingespannt in den oben beschriebenen Hand- und Winkelstücken [22].

## **2.2 Kinetische Kavitätenpräparation**

Durch die Entwicklung von adhäsiven Restaurationstechniken und Materialien, wie Komposite oder Glasionomerezemente, sind neue Vorstellungen bezüglich Form und Ausdehnung in der Kavitätenpräparation entstanden. Rundliche, minimal ausgedehnte und flache Präparationen ohne scharfe Winkel im Inneren der Kavität sowie angeschrägte Präparationsränder haben den Platz der konventionellen Kavitäten mit präzisen Grenzen, Winkeln und Kavitätenböden eingenommen [30, 5, 28].

Durch die modernen Adhäsivtechniken ist es nun nicht mehr erforderlich, Retentionen in Form von untersichgehenden Bereichen zu schaffen, wie sie z.B. für Amalgamrestaurationen notwendig waren. Die Adhäsivsysteme minimieren somit die Retentionsanforderung einer Kavitätenpräparation [15]. Bei der kinetischen Kavitätenpräparation entstehen Präparationsformen, die in ihren Ausdehnungen, Konturen und Umrissen den Bedürfnissen der neuen Klebetechniken entsprechen [30, 34].

Die Entwicklung neuer Restaurationsmaterialien und die damit verbundenen neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse über geeignete Präparationsformen sowie die Nachteile der konventionellen Präparationstechnik sind dafür verantwortlich, dass die „alte“ Technik der kinetischen Kavitätenpräparation erneut großes Interesse auf sich zog [14, 12].

Bei dieser auch als „Air Abrasion“ bezeichneten Technik wird unter hohem Druck ein Partikelstrom aus Aluminiumoxidteilchen auf die zu bearbeitende Oberfläche gelenkt. Der dadurch entstehende Substanzabtrag ist abhängig von den Ausprägungen der Einflussparameter: Härte der zu bearbeitenden Substanz, Abstand und Winkel zwischen Düsen Spitze und Bearbeitungsfläche sowie Partikelgeschwindigkeit und Partikelgröße [26].

Die kinetische Energie der Partikel kann bei der „Air Abrasion“ durch die Formel

$$E = m \cdot \frac{v^2}{2}$$

beschrieben werden. Dabei entspricht

- E der kinetischen Energie,
- m der Masse des bewegten Körpers,
- und v der Geschwindigkeit des Körpers.

Die kinetische Energie ist proportional zur Masse des bewegten Körpers und dem Quadrat der Geschwindigkeit des Körpers. Die abrasiven und sehr harten Aluminiumoxid-Teilchen werden mit hoher Geschwindigkeit auf die Zahnoberfläche gestrahlt. Durch die kinetische Energie der Partikel werden beim Aufprall kleinste Zahnhartsubstanzteilchen aus dem Verbund herausgelöst.

### 2.2.1 Oberflächenkonditionierung

In der zahnärztlichen Literatur sind viele Indikationen für die KCP-Technik wie zum Beispiel das Säubern von Fissuren vor der Fissurenversiegelung beschrieben. Ziel der Fissurenversiegelung ist, die Grübchen und Fissuren im Seitenzahnbereich so dicht zu verschließen, dass sich kein kariogenes Substrat oder kariogene Mikroorganismen in den genannten Bereichen ansiedeln können. Die Reinigung der Fissuren vor der Versiegelung erzeugt eine besser haftende Versiegelung. Auch leicht bräunliche Verfärbungen und gelockerte Schmelzprismen können mit der „Air Abrasion“ bzw. mit der kinetischen Kavitätenpräparation leicht und substanzschonend entfernt werden, so dass ein optimaler Verbund zwischen Sealer und angeätztem Schmelz gewährleistet ist [3, 24, 39, 10, 42]. Um Kompositmaterialien dauerhaft und spaltfrei am Zahnschmelz zu adaptieren, muss die Oberfläche vorher konditioniert werden. Durch die so genannte Säure-Ätz-Technik kommt es zu einer Oberflächenvergrößerung und einem Mikroretentionsrelief, welches eine mikromechanische Haftung zwischen Schmelz und Kompositmaterial gewährleisten soll. Wird ein durch die Säureeinwirkung erzeugtes Mikroretentionsrelief mit einem Schmelzhaftvermittler (Adhäsiv/Bonding) benetzt, so dringt dieser in das Retentionsrelief ein und haftet mikromechanisch am Zahnschmelz. Das Ergebnis einer Untersuchung von Brockham et al. war, dass die höchste Haftung von Fissurenversiegelungen durch die Oberflächenbehandlung mit einem Pulverstrahlgerät in Kombination mit einer Säurekonditionierung erreicht werden kann [7]. Die kinetische Kavitätenpräparation mit einem Pulverstrahl führt zudem zu einer deutlichen Aufrauung der Schmelzoberfläche. Einige Studien untersuchten, ob diese Aufrauung die Ätzung des Schmelzes als Konditionierungsmaßnahme bei dem Legen von Kompositfüllungen überflüssig macht [26, 41, 29, 16]. In einer in-vitro Untersuchung wurde an 280 menschlichen Zähnen der Einfluss der kinetischen Kavitätenpräparation auf die Verbundfestigkeit zu den Kompositen untersucht. Dabei wurden als mögliche Einflussparameter der Partikelstrahl Druck und die Partikelgröße variiert. Die Ergebnisse dieser Arbeit erlaubten die Schlussfolgerung, dass auf die konventionelle Säurekonditionierung auch bei einer KCP-gestützten Hartsubstanzbearbeitung nicht verzichtet werden sollte [26]. Im Vergleich zwischen konventionell präparierten, säurekonditionierten und nicht säurekonditionierten Schmelzoberflächen und Oberflächen,

welche ausschließlich mit KCP präpariert wurden, stellte sich heraus, dass die Aufrauung der KCP konditionierten Schmelzoberflächen größer war als der Oberflächen, die durch konventionelle Präparationstechniken entstanden, aber nicht säurekonditioniert waren. Dahingegen war aber die Verbundfestigkeit der säurekonditionierten Oberflächen im Vergleich zu KCP konditionierten Oberflächen größer [4, 27, 28]. Roeder et al. verglichen in einer Studie die Verbundfestigkeit von Kompositen zu Schmelzoberflächen und Dentinoberflächen, die unter differierenden Bedingungen mit KCP Verfahren bestrahlt und konditioniert wurden [35]. Die Autoren konnten keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen der Verwendung von Aluminiumoxid Pulver der Partikelgröße  $27\text{ }\mu\text{m}$  und Aluminiumoxidpulver der Partikelgröße  $50\text{ }\mu\text{m}$  in Bezug auf Haftung der Komposite aufzeigen. KCP behandelte Schmelzoberflächen, die nicht säurekonditioniert, aber mit Adhäsiv versehen waren, hatten eine statistisch relevant höhere Haftung als solche, die ausschließlich mit KCP behandelt wurden. Die maximale Haftkraft zwischen Komposit und Schmelz kam auf den Oberflächen zustande, die mit KCP bearbeitet, säurekonditioniert und mit Adhäsiv versehen waren. Vergleichbare Ergebnisse waren auch auf Dentinoberflächen zu beobachten. Auch hier kam es zur höchsten Haftung zwischen Komposit und Dentin bei der Anwendung von KCP, einer Säurekonditionierung und der Applikation von Dentin-Primer und Adhäsiv-Bonding.

### **2.2.2 Auswirkungen und Oberflächenveränderungen durch Bearbeitung mit KCP**

Im Vergleich zu rotierenden Instrumenten, bei denen nur der Bereich des Zahnes, der unmittelbar in Kontakt mit dem Instrument kommt, einen Effekt bzw. Abtrag zeigt, kommt es bei der Bearbeitung mit Air Abrasion durch die Streuung des Pulverstrahles auch zu Defekten an umliegenden Oberflächen [17, 30]. In einem Randbereich von  $1\text{ }\mu\text{m}$  bis  $20\text{ }\mu\text{m}$  Breite konnten um die Präparationsstelle mikroskopisch kleine Rauigkeiten an der Schmelzoberfläche beobachtet werden [18]. Diese Rauigkeiten bilden sich als eine Art „Hof“ um die Präparation herum. Die Breite ist im Wesentlichen abhängig von der Distanz zwischen der Düse und der Oberfläche sowie dem Durchmesser der Düsenöffnung. Dieser „Hof“-

Effekt entsteht durch periphere Partikel des Pulverstrahles. Die Abtragsleistung dieser peripheren Partikel des Pulverstrahles ist weniger groß als die der Partikel im Zentrum des Pulverstrahles, da die Geschwindigkeit und auch die Anzahl der Partikel zur Peripherie hin abnimmt. Somit entsteht also ein Bereich von geringem Abtrag um die eigentliche Kavität herum [30]. Diese Verletzungen in der unmittelbaren Umgebung der Kavität des angrenzenden Schmelzes kann dann zum Beispiel zu einer höheren Akkumulation von Plaque sowie zu Sekundärkaries führen.

Um Schäden an der intakten Zahnoberfläche festzustellen, wurde in einer Untersuchung genau eine Hälfte einer Schmelzoberfläche vor der Präparation mit einer Lackschicht versehen, die andere Hälfte blieb hingegen unbehandelt. Nach der Behandlung mit Air-Abrasion konnte man deutlich einen Unterschied zwischen der geschützten und der ungeschützten Oberfläche erkennen. Mikroskopisch zeigte die ungeschützte Seite eine abgerundete Präparationsgrenze sowie ein Areal um die Präparation, welches rau erschien. Auf der mit dem Lack geschützten Oberfläche konnte man eine rechtwinklige Präparationsgrenze beobachten [18]. Zudem konnte festgestellt werden, dass bei Verwendung eines Lackschutzes die umgebende gesunde Zahnhartsubstanz nicht beschädigt bzw. aufgeraut wurde.

Weitere Auswirkungen auf mit Pulverstrahlgeräten bearbeitete Oberflächen wurden u.a. von Laurell et al. beschrieben. Dabei wurden Kavitäten miteinander verglichen, die zum einen mit rotierenden Instrumenten und zum anderen mit Pulverstrahlgeräten hergestellt wurden. Mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops wurden die beiden Präparationsvarianten hinsichtlich der Schärfe der Konturen und der Rauigkeit der Präparationsflächen untersucht [30]. Die Präparationen mit rotierenden Instrumenten zeigten scharfe, klar definierte Präparationsgrenzen und einen planen Kavitätenboden. Die Kavitätenwände zeigten mikrofine Risse und Spalten im Bereich von  $10\text{ }\mu\text{m}$  bis  $100\text{ }\mu\text{m}$  [2]. Im Gegensatz dazu standen die Kavitätenkonturen der KCP Präparationen verschiedener Geräte. Hier waren keine scharfen Winkel zu erkennen, die Präparationsgrenzen waren abgerundet und meist sehr einheitlich abgetragen. Bei einer geringeren Vergrößerung waren die Präparationsgrenzen klar zu erkennen. Wie schon oben erwähnt bildete auch hier

eine etwas aufgeraute Oberflächenbeschaffenheit eine Art „Hof“ um die Präparation. Dieser sogenannte „Hof“- Bereich zeigte bei höherer Vergrößerung eine einheitliche Struktur mit Rauigkeiten bis zu  $5\text{ }\mu\text{m}$ . In Abschnitten, in denen die Düse mit einem Abstand von weniger als  $1\text{ mm}$  eingesetzt wurde, entstanden etwas exaktere Grenzen. In diesem Fall konnte aber kein „Hof“ um die Präparation beobachtet werden. Der Unterschied in der Wirkung zwischen den einzelnen KCP - Geräten war gering. Die rauesten Oberflächen waren bei Proben, die mit  $50\text{ }\mu\text{m}$  Pulver und einem Druck von  $11\text{ bar}$  bearbeitet wurden, zu beobachten, während die glattesten Oberflächen bei den Proben, die mit einem Pulver der Körnung  $27\text{ }\mu\text{m}$  und einem Druck von  $5,5\text{ bar}$  bearbeitet wurden, auftraten [5].

Die rundliche Kontur der Grenzen und Winkel der KCP-Kavitäten ist auf die Eigenschaft des Pulverstrahles zurückzuführen, dessen äußere Anteile durch die geringere Partikelkonzentration und die geringere Geschwindigkeit der Partikel eine verminderte Abtragsleistung haben [30, 5].

In anderen Untersuchungen wurden der Einfluss des Düsendurchmessers, des Abstandes der Düse zu der zu bearbeitenden Oberfläche und der Einfluss der Bearbeitungszeit auf die Abtragsleistung untersucht. In einer Studie von Peruchi et al. wurden extrahierte Milzhähne mit verschiedenen KCP - Geräten bearbeitet. In dem Versuch variierten der Durchmesser der Düsenspitze, der Abstand der Düse zum Schmelz sowie die Bearbeitungszeit. Die Analyse der Ergebnisse zeigte, dass der Abstand der Düse einen deutlichen Einfluss auf die Tiefe und Breite der Kavitäten hatte. Je kleiner der Abstand der Düse zu dem zu bestrahlenden Schmelz wurde, desto tiefer und schmaler wurden die Kavitäten. Bei einem Abstand von  $5\text{ mm}$  waren die Werte der Messungen im Vergleich zu einem Abstand von  $2\text{ mm}$  in der Breite bis zu  $57\%$  größer und der Tiefe bis zu  $42\%$  geringer [34]. Die Studie beschreibt weiter, dass die Form der Kavitäten, d.h. Breite und Tiefe auch durch unterschiedliche Durchmesser der Düsenspitzen beeinflusst werden konnten. Bei einem Düsendurchmesser von  $0,38\text{ mm}$  waren die Kavitäten bis zu  $50\%$  flacher ( $180,21\text{ }\mu\text{m}$ ) und  $11,4\%$  schmaler ( $881,79\text{ }\mu\text{m}$ ) als Kavitäten, die mit einem Düsendurchmesser von  $0,48\text{ mm}$  bearbeitet wurden. Die Angaben zu Kavitäten- Breiten und -Tiefen in der oben genannten Studie waren größer als die Ergebnisse einer Untersuchung von Santos-Pinto et



al., bei denen Kavitätenbreiten von  $740\text{ }\mu\text{m}$  und Kavitätentiefen von  $156\text{ }\mu\text{m}$  beobachtet wurden. Im Vergleich zu Peruchi wurden dabei aber bleibende Zähne verwendet. Santos-Pinto konnte keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den Kavitäten, die mit zwei unterschiedlichen Düsendurchmessern präpariert wurden, feststellen [38].

### **Einfluss des Düsenwinkels**

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Form der Kavitäten ist der Düsenwinkel. Der Düsenwinkel bestimmt die Tiefe und die Breite einer Kavität. In der Regel wird bei der Pulverstrahldüsenneigung zwischen den Winkeln  $45^\circ$  und  $80^\circ$  unterschieden. Bei den Düsen im Winkel von  $80^\circ$  kommt es zu tieferen und schmaleren Kavitäten als bei denen, die mit einer Düse im  $40^\circ$  Winkel gestaltet wurden [36]. Santos-Pinto et al. konnten in einer Studie zeigen, dass bei einem Abstand von 2 mm zur bearbeiteten Oberfläche und einer Düsen Spitze mit einem Neigungswinkel von  $80^\circ$  ein konsequent einheitliches Präparationsmuster entstand. Diese Kombination der Parameter Düsenwinkel und Abstand erwies sich bezüglich Abtragsleistung und der Form der Präparation als sehr effizient. Die Präparationen auf Basis der Düsen Spitze mit  $45^\circ$  -Winkel zeigten im Vergleich eine geringere Abtragsleistung. Die Form der Kavität war in beiden Fällen muldenförmig, wobei die der Präparation mit der  $80^\circ$  Düse aber deutlich schmaler war [37].

### **2.2.3 Indikationen und Vorteile der Kavitätenpulverstrahlgeräte**

Hauptindikationsgebiet der Kavitätenpulverstrahlgeräte sind die Fissurenkaries sowie die oberflächliche Glattflächenkaries. Bei konventioneller Präparationstechnik mit rotierenden Instrumenten ist der Substanzverlust durch die Präparation oftmals größer als das Volumen der kariös geschädigten Substanz. Häufig sind kleinere oberflächlich kariöse Defekte nach Abnahme von orthodontischen Bändern zu beobachten. Hier ist es mit der Pulverstrahltechnik möglich, die Karies punktgenau zu entfernen, solange sie noch nicht sehr tief ins Dentin vorgedrungen ist. Auch bei Fissurenkaries erzielt man durch die Anwendung

des Pulverstrahles gute Ergebnisse [24, 23]. Die Fissur wird substanzschonend eröffnet und die kariöse Zahnhartsubstanz entfernt. Bei der anschließenden Versorgung mit einer Kompositfüllung unter Verwendung fließfähiger Materialien und der „total-etch“-Technik ist es unerheblich, ob es sich um eine Kavität mit oder ohne Dentinbeteiligung handelt. Ebenso ist die Air Abrasion bei Zahnhalskaries oder auch bei keilförmigen Defekten besonders effektiv einsetzbar. Nach dem Entfernen der erweichten Substanz bei der genannten Zahnhalskaries, wird mit dem Pulverstrahl die Oberfläche der entstandenen Kavität oder wie oben erwähnt die Oberfläche der keilförmigen Defekte angeraut, um eine verbesserte Haftung des Komposits in den kritischen Bereichen, den Rändern, zu erzielen. Oft kommen die KCP- Geräte auch zur Haftungsverbesserung von Inlays, Kronen und Brücken zum Einsatz. Die Objekte und ebenso die Stümpfe werden an ihrer Innenseite durch den Pulverstrahl gereinigt und angeraut, so dass es zu einer optimalen Haftung zwischen Stumpf und Objekt kommen kann. Auch bei Reparaturen von Kunststoff oder Keramikverblendungen kommt das KCP zum Einsatz. Durch die Anrauhung des Materials und der Klebeflächen kommt es auch hier zu besseren Haftungsergebnissen [39, 31, 23].

Neben dem Einfluss von Air Abrasion auf zahnärztliche Werkstoffe und deren Eigenschaften sowie dem direkten Einfluss auf die Zahnhartsubstanzen nimmt sie auch Einfluss auf das Empfinden bzw. Befinden des Patienten. Bei der klinischen Anwendung der KCP entsteht nahezu kein Schmerz [9]. Durch den wesentlich geringeren Schmerz gibt es häufig keine Indikation für eine Lokalanästhesie und durch das Ausbleiben des typischen Bohrergeräusches kommt es zu einer deutlich geringeren psychischen Belastung der Patienten. Diese Vorteile der KCP werden besonders in der Kinderzahnheilkunde bei sehr schmerzempfindlichen Patienten und auch solchen mit „Zahnarztphobien“ genutzt [17, 23]. Bei der konventionellen Präparationstechnik sind insbesondere die hochfrequenten Vibrationen der Turbine, die durch den Bohrer auf den Zahn übertragen werden, ein Auslöser für das Schmerzempfinden des Patienten. Da es bei der Air Abrasion zu keinem direkten Kontakt von Gerät und Zahn kommt, werden keine Vibrationen und Schwingungen auf den Zahn übertragen und somit das schmerzinduzierende hochfrequente Geräusch der Turbine vermieden. Bei der Air Abrasion kommt es zu keinen thermischen Belastungen der Pulpa und die Odontoplastenschicht wird nicht geschädigt. Es kommt also

nicht zu der Entstehung eines smear layers (Schmierschicht), bestehend aus Zahnhartgewebstrümmern, Zellbestandteilen, Bakterien und Dentinliquor, was wie ein Teppich die Kavitätenoberfläche bedeckt; Tubulifortsätze werden nicht aus den Dentintubuli gerissen. Die Tubuli werden durch den Partikelstrahl „verschlossen“. Klinisch lässt sich dies an dem stumpf-trockenen Erscheinungsbild des Kavitätenbodens erkennen [31].

Im Gegensatz zu seiner Wirkung auf die Zahnhartsubstanz hat der Pulverstrahl, solange die kinetische Energie der Teilchen nicht zu groß ist, keine abtragende oder zerstörende Wirkung auf weiche, nicht gespannte Oberflächen. Eine weiche Oberfläche wie die Schleimhaut federt die Aluminiumoxid-Partikel ab und bremst deren kinetische Energie. Die Aluminiumpartikel richten somit nur einen geringen Schaden an oralem Weichgewebe an [39].

#### **2.2.4 Differenzierung zwischen Kavitätenpulverstrahl- und Prophylaxe-Pulverstrahl-Gerät**

Bei den Pulverstrahlgeräten, die auf dem Prinzip der kinetischen Energie aufgebaut sind, werden kleinste Pulverpartikel von einem starken Luftstrom transportiert und konstruktionsbedingt an der Austrittsdüse beschleunigt. Beim Auftreffen dieser aktivierten Teilchen auf die Oberfläche des Zahnes führt diese Bewegungsenergie, je nach Beschaffenheit des Pulvers und des Gerätes, zu einem Abtrag von Belägen oder von Zahnhartsubstanz. Welche und wie viel Substanz abgetragen wird, hängt ganz entscheidend von dem Gerät und der Art des Pulvers sowie der korrespondierenden Oberfläche ab. Die Kavitätenpulverstrahlgeräte arbeiten in der Regel mit Aluminiumoxid, und einem Druck zwischen 3,2 und 11 bar, während das weit verbreitete Pulver-Wasserstrahl-Gerät (PWS/Air-Flow) mit Natriumbicarbonat und einem Druck von 2,3 bis 3,2 bar arbeitet. Diese unterschiedlichen Parameter sind verantwortlich für die unterschiedlichen Indikationsbereiche. Die Kavitätenpulverstrahlgeräte können zur minimalinvasiven Fissuraufbereitung, zur minimalinvasiven Kavitätenpräparation, zur Konditionierung von Klebeflächen sowie zur minimalinvasiven Entfernung von Verfärbungen im Schmelz angewendet werden. Das Pulver-Wasserstrahl-Gerät (Air-Flow) wird bei der Professionellen Zahnreinigung

eingesetzt. Das Haupteinsatzgebiet der Air-Flow-Systeme ist das Entfernen von Genuss- und Nahrungsmittelverfärbungen wie Nikotin, Kaffee, Tee oder Rotwein auf sichtbaren Zahnoberflächen, sowie die Entfernung von bakterieller Plaque. Das aus der Düse geblasene Pulver-Wasser-Luft-Gemisch mit einer Korngröße von etwa  $45\text{ }\mu\text{m}$  wird aus einer Distanz von 3-5 mm im Winkel von  $60\text{-}90^\circ$  auf die Zahnoberfläche gebracht und kann so auch hartnäckige Verfärbungen von der Zahnoberfläche entfernen. Luftdruck und Wassermenge sind meist individuell, je nach gewünschter Strahlkraft, einstellbar. Die Pulver bestehen zu 95% aus Natriumbicarbonat-Partikeln. Um den salzigen Geschmack zu kaschieren und Verklumpungen zu vermeiden, werden noch Zusätze beigemischt. Aus REM-Untersuchungen geht hervor, dass die Bearbeitung von kariesfreiem, gesundem Zahnschmelz mit Wasser-Pulverstrahlgeräten zu fast keinen Beschädigungen der Schmelzoberfläche führt [6, 32, 40].

### **2.3 Aufbau von Kavitäten-Pulverstrahl-Geräten**

Bei KCP wirbelt Pressluft mit einem Druck von ca. 3-7 bar das Strahlmedium (Aluminiumoxid) in der im Gerät befindlichen Pulverkammer auf. Das so erzeugte Luft-Pulver-Gemisch gelangt durch die Auslassöffnung in der Pulverkammer, deren Durchmesser deutlich größer ist als der Durchmesser der Düse, in den Handstückschlauch und durch diesen bis hin zur Düse, an deren Ende sich die Austrittsöffnung befindet. Bei dem in diesem Versuch verwendeten Gerät Primus-CPE verläuft parallel zu dem Schlauch, in dem das Luft-Pulver-Gemisch zur Düsenspitze transportiert wird, ein Wasserschlauch. An der Düsenspitze treten das Luft-Pulver-Gemisch und der Wasserstrahl aus zwei konzentrisch angeordneten Öffnungen aus. Aus der inneren Öffnung verlässt das Luft-Pulver-Gemisch die Düse, aus der äußeren Öffnung tritt der Wasserstrahl aus, der die Staubentwicklung des Pulvers minimiert.

## Kapitel 3

# Material und Methode

Mit dieser Arbeit sollen im wesentlichen drei Fragestellungen bearbeitet werden:

1. Welchen Einfluss hat der Abstand zwischen Düsen Spitze und zu bestrahlender Oberfläche und die Körnung des verwendeten Aluminiumoxidpulvers der beiden KCP-Geräte auf die Fokussierung also die Streuung des Pulverstrahles?
2. Welchen Einfluss haben die beiden KCP-Geräte auf die Abtragsleistung bzw. Effizienz unter Berücksichtigung der Parameter „Körnung der Partikel“, „Arbeitsmodus“ (nass, trocken) und „Art der Zahnhartsubstanz“ (Schmelz, Dentin)?
3. Welche Bearbeitungszeit wird zur Präparation einer standardisierten Kavität im Vergleich zur konventionellen Präparationstechnik benötigt?

Analog den Fragestellungen unterteilte sich die Arbeit im Wesentlichen in drei Versuche.

## 3.1 Gerätebeschreibung

### 3.1.1 Kinetik-Partikelstrahler Primus-CPE

Das Gerät besteht aus

- einem Gehäuse mit Netzanschlussbuchse, Netzschalter, Wasser und Luftanschluss,
- einem Handstück mit austauschbarer Düse,
- einem Fußschalter,
- und einem Bedienpult.

Der Kinetik-Partikelstrahler Primus-CPE ist für den Einsatz in der Zahnarztpraxis konzipiert. Er wird als Alternative und Ergänzung zu den rotierenden Bohrern und Fräsern der Dentalpraxis eingesetzt, die mit Turbine oder Motor angetrieben werden. Er dient zum Entfernen von Zahnhartsubstanz und Füllungen sowie zur Kavitätenpräparation. Die Beschleunigung von Partikeln (Aluminiumoxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Luft findet erst in der Austrittsdüse statt (kinetischer Partikelstrahl). Die aus der Düse austretenden Partikel erhalten durch die Beschleunigung eine hohe kinetische Energie und besitzen so die Fähigkeit, Zahnhartsubstanz, Keramik, etc. abzutragen. Am Primus-CPE befindet sich ein Pulverbehälter, in den das Partikelpulver eingefüllt wird. Das Pulver wird im Wirbelstromverfahren von dem dort erzeugten Luftstrom ausgetragen. Die Druckluft mit dem beigemischten Partikelpulver wird durch den Zuleitungsschlauch zum Handstück mit der Austrittsdüse transportiert. Die Austrittsdüse hat einen inneren Durchmesser von 0,6 mm.



Abbildung 3.1: Die Düsen Spitze des Gerätes Primus-CPE ist integriert in eine Wasserzuführung mit seitlichen Austrittsöffnung an der Basis des Arbeitsteils.

### 3.1.2 Kinetik Partikelstrahler RondoFlex

Der Kinetik-Partikelstrahler RondoFlex ist ebenfalls für den Einsatz in der zahnärztlichen Praxis konzipiert. Das Gerät stellt eine Alternative zu den herkömmlichen rotierenden Instrumenten dar. Das Indikationsspektrum beinhaltet neben der Kavitätenpräparation, das Aufbereiten von Klebeflächen, Erweitern von Fissuren zur Fissurenversiegelung sowie Extraorales Entfernen von Zementresten in Kronen und Brücken. Das Gerät RondoFlex besitzt eine Multiflex-Kupplung, die auf jeden Winkelstück-Motor einer zahnärztlichen Behandlungseinheit aufgesteckt werden kann. Das Gerät besteht aus

- einem Gehäuse ( dem Handstück mit austauschbaren Düsen )
- und einem im Gehäuse integrierten Pulverbehälter, welcher abnehmbar ist.

Der Arbeitsdruck wird im Instrument von ca. 2,8 bar (ausgehend von der jeweiligen Behandlungseinheit) auf ca. 3,2 bar erhöht. Die Fließrate des Pulvers beträgt ca. 3,0 - 4,0 g/min, der Luftverbrauch wird mit 10 NL/min angegeben.

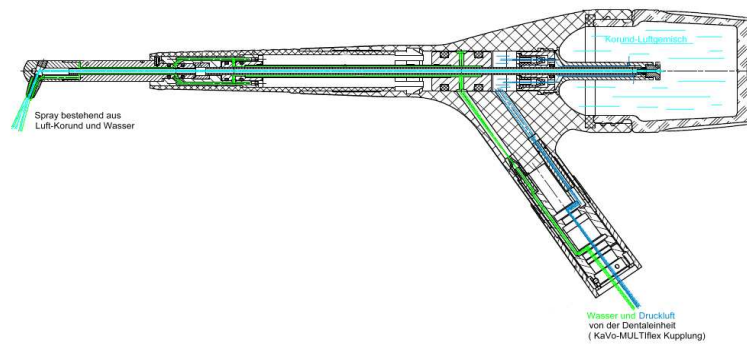


Abbildung 3.2: Medienführung bei dem Gerät RondoFlex (Graphik KaVo Biberach)



Abbildung 3.3: Konventionelle Düsenspitze des Kavitätenpulverstrahlgerätes RondoFlex



## 3.2 Versuch zur Bestimmung der Streuung des Pulverstrahls

Die erste Fragestellung bezüglich Fokussierung bzw. Streuung des Pulverstrahls wurde anhand von zwei Teilversuchen analysiert. Im ersten Teilversuch wurde unter möglichst standardisierten Bedingungen die Streuung des Strahls auf zuvor präparierten Objektträgern bestimmt; im zweiten etwas praxisnäheren Versuch wurde die Breite des Strahles anhand einer in einem Zahn präparierten Furche bestimmt.

### 3.2.1 Breite des Strahls bei punktförmiger Bestrahlung eines Objektes

Zur Vorbereitung des Versuches wurden zunächst 1 mm dicke Glasplatten (Mat.1) mit einer schwarzen Lackschicht versehen. Um die Fokussierung, d.h. die Streuung des Pulverstrahles, bestimmen zu können, wurden die Düsen jeweils der KCP-Geräte mittels einer Stabklemme so fixiert, dass die Düsen spitze senkrecht auf die vorbereitete Glasplatte ausgerichtet war. Die Glasplatte war während des Versuchs auf einer Laborhebebühne fixiert. Mit Hilfe der Hebebühne (Mat.2) wurde der gewünschte Abstand zwischen Düsen spitze und Glasplatte durch 1 mm dicke Abstandsplatten (Mat.3) eingestellt.

Unter konstantem Druck (Primus-CPE 6,5bar; RondoFlex 4,2bar) und konstanter Bearbeitungszeit (3 sec) erfolgte eine punktförmige Bestrahlung mit einem der Geräte, der jeweils gewählten Partikelgröße sowie dem jeweils festgelegten Abstand. Dieser Vorgang wurde pro Glasplatte fünfmal wiederholt. Um den Einfluss der Faktoren untersuchen zu können, wurden die Ausprägungen der Faktoren

Gerät:	Primus-CPE, RondoFlex,
Partikelgröße:	25 $\mu\text{m}$ / 27 $\mu\text{m}$ , 50 $\mu\text{m}$ ,
Abstand:	1 mm, 2 mm, 3 mm

wiederholt so kombiniert, dass mit jeder möglichen Kombination jeweils drei Glasplatten bestrahlt wurden. Die Kombination aus Partikelgröße und Abstand, mit der der Einzelversuch durchgeführt wurde, wurde zufällig ausgewählt. Generelle Annahme für die folgenden Versuche: Bei den folgenden Versuchen wird davon ausgegangen, dass der aus der Düse austretende und auf die zu bestrahlenden Oberfläche auftretende Pulverstrahl durch die geometrische Figur eines Kreiskegels beschrieben werden kann. Falls die Mittellinien des Kegels senkrecht auf den zu bestrahlenden Oberflächen stehen, ist die Präparationsfläche ein Kreis. Die Größe der Fläche ist in diesem Fall proportional zu dem gemessenen Durchmesser. Die Fokussierung des Strahls lässt sich somit durch den zu messenden Durchmesser beschreiben.

Die Auswertung der Proben, d.h. die Bestimmung der Breite des Partikelstrahls, wurde mit einem Mikroskop (Mat.4) vorgenommen. Dabei wurden die präparierten Glasplatten in der Halterung des Mikroskoptisches unter der Linse fixiert und mit Hilfe der im Objektiv des Mikroskops befindlichen Skala der größte Durchmesser in der Vertikalen sowie Transversalen unter 32facher Vergrößerung gemessen.

Tabelle 3.1 kennzeichnet die Ausprägungen der Faktoren, deren Einfluss auf die Fokussierung des Strahls untersucht werden sollte.

Sofern der Unterschied zwischen der Körnung  $25\text{ }\mu\text{m}$  und  $27\text{ }\mu\text{m}$  als nicht relevant angesehen werden kann, ist der Versuchsplan drei-faktoriell und vollkombiniert aufgebaut (d.h. jede Ausprägung des einen Faktors kam mit jeder Ausprägung der anderen Faktoren vor,

Tabelle 3.1: Einflussfaktoren und ihre Ausprägungen

Einflussfaktor	Ausprägung
Geräte	Primus-CPE, Modus nass und RondoFlex, Modus trocken
Körnung des Pulvers	$50\text{ }\mu\text{m}$ und $25\text{ }\mu\text{m}$ bzw. $27\text{ }\mu\text{m}$
Abstand der Düse	1 mm, 2 mm und 3 mm

so dass insgesamt 12 Versuchsgruppen vorlagen. Der Versuch wurde in jeder Kombination 15 mal wiederholt, d.h.  $n_{ijkl} = 15$  (i kennzeichnet das Gerät, j die Körnung des Pulvers, k den Abstand der Düse und l die Wiederholung des Versuchs). Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren waren nicht zu erwarten.

### **3.2.2 Breite des Strahls bei der Präparation einer Furche**

Im zweiten Teilversuch, der die Praxis mehr abbildet als der vorher beschriebene, sollte der Einfluss der Geräte und der Körnung auf die Breite einer im Schmelz präparierten Kavität untersucht werden.

#### **Probenherstellung**

Zur Durchführung dieses Versuches wurden ausschließlich extrahierte, menschliche Molaren, die Kontakt zur Mundhöhle hatten, eingesetzt. Informationen bezüglich anamnestischer Daten, die unter Umständen einen Einfluss auf die Härte der Zahnoberfläche haben könnten, lagen nicht vor. Zur Desinfektion und Konservierung wurden die Zähne unmittelbar nach ihrer Entfernung in wässriger Thymollösung (Mat.5) eingelegt und in dieser bis zur Aufbereitung für den Versuch aufbewahrt. Vor der Probenherstellung, die mit Hilfe einer diamantierten (Mat.6) Bandsäge erfolgte, wurden die Zähne zunächst unter fließendem Wasser von Blut und Weichgewebsresten befreit und anschließend mittels eines lichthärtenden Kunststoffklebers (Mat.7) und einer Polymerisationslampe (Mat.8) mit ihren Okklusalfächen an einem Plexiglasobjektträger (Mat.9) befestigt. Um die Wurzel abzutrennen, wurde dieser Plexiglasobjektträger mittels Unterdruck, der mit einer Vakuum-Pumpe (Mat.10; 700 mbar) erzeugt wurde, an dem Arbeitsschlitten des Exakt-Trennschleifgeräts fixiert. Bei ausreichender Wasserkühlung, einer mittleren Geschwindigkeit der Bandsäge (Stufe 5-6 ca. 200-250 m/min) und einer Belastung des Schlittens von 50g wurden die Wurzeln abgetrennt. Um aus einem Zahn zwei Proben zu erhalten, wurden die Zahnkronen erneut auf einem Plexiglasobjektträger fixiert und von mesial nach distal

in zwei gleichgroße Teile geteilt, so dass eine bukkale und eine linguale Hälfte entstanden. Anschließend wurde auf den entstandenen Bukkal- bzw. Lingual-Flächen im Bereich des Schmelzes eine plane Oberfläche geschaffen, in dem die äußere Wölbung mittels der Säge entfernt wurde.

### **Aufbau und Durchführung des Versuches**

Zur besseren Handhabung blieben die Zahnhälften während der Versuchsdurchführung auf dem Plexiglasobjektträger fixiert. Die Objektträger wurden auf eine plane Arbeitsplatte gelegt und die KCP Düsen spitze manuell in einem Abstand von ca. 1 mm in einer langsamen gleichförmigen Bewegung über die standardisierte plane Zahnoberfläche geführt. Damit diese Bewegung möglichst ruhig durchgeführt werden konnte, lag bei der Führung der Düsen spitze der Handballen auf der Arbeitsplatte. Um die Auswertung der Furche gemäß Fragestellung gewährleisten zu können, wurde an jeder Zahnhälfte nur eine Furche präpariert, d.h. die manuelle Bewegung nur ein einziges Mal durchgeführt.

### **Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung**

Zur Vorbereitung der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung wurden die bearbeiteten Proben in einen Brutschrank (Mat.12) bei 37°C für sieben Tage getrocknet. Sie wurden danach mit Hilfe eines Spezialklebers (Mat.13) auf einen Rasterteller (Mat.14) geklebt und anschließend zur vollständigen Trocknung des Klebers für 24 Stunden an der Luft getrocknet. Die nicht leitfähigen Proben mussten zunächst mit Gold bedampft werden. Dazu wurden sie mit staubfreier Druckluft von feinsten Staubpartikeln befreit und mit einem Sputtergerät Typ SCD 040 (Mat.15) unter Stickstoffatmosphäre bei einer Spannung von 180 V - 250 V und einer Stromstärke von 16mA in einem ca. vier Minuten dauernden Arbeitsgang mit einer ca. 30-40 nm dicken Goldschicht versehen. Zur Durchführung der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung wurden die Präparate in einen Probenschlitten des Rasterelektronenmikroskops (Mat.11) gesetzt. Beim Ein-

setzen der Präparate in den Probenschlitten mussten diese zur besseren Fokussierung in gleicher vertikaler Ausrichtung justiert werden. Dies geschah mit Hilfe eines durchsichtigen Kunststoffringes, der auf den Probenschlitten aufgesetzt werden konnte. Die Präparate wurden so entsprechend der Oberkante des Ringes in gleicher Höhe ausgerichtet. Die für die Aufnahmen gewählten Einstellungen des Rasterelektronenmikroskops enthält Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Gewählte Einstellungen für das Rasterelektronenmikroskop

Parameter	Spezifikation
Spannung	25 kV
Emission	2 $\mu\text{A}$
Blende	400 $\mu\text{m}$
Monitorvergrößerung	40-fach

Nach korrekter Ausrichtung der Proben wurden bei standardisierter Vergrößerung (40-fach) von der präparierten Oberfläche zwei zufällig ausgewählte Teilbereiche photographisch so dargestellt, dass für die Bestimmung der Furchenbreite von jedem Objekt (Molarenhälfte) gleich viele Bilder (Mat.17) zur Verfügung standen. Die Angabe des Vergrößerungsfaktors bezog sich auf die digitale Anzeige des Rasterelektronenmikroskops. Durch die Erstellung der Bilder aus dem Negativfilm wurde der Vergrößerungsfaktor nochmals verändert. Mit Hilfe der in den Aufnahmen enthaltenen Skalierungen konnte die tatsächliche Furchenbreite jedoch genau ermittelt werden.

### **Auswertung der Bilder - Bestimmung der Breite der Präparationsfurchen**

Zur Auswertung diente eine repräsentative Bildstichprobe (s. Abb. 3.4) der erzeugten Furchen mit 40-facher Vergrößerung. Die jeweils dargestellte Kavität wurde in vier äquidistante Teilabschnitte zerlegt. Je Teilabschnitt wurde genau einmal die Breite der Kavität millimetergenau ermittelt.



(a) RondoFlex27 40 fach



(b) TGA25 40 fach

Abbildung 3.4: Bildstichprobe der präparierten Furchen; kleiner Teilstrich  $\hat{=}$   $100\mu\text{m}$

### Versuchsgruppen und Versuchsdesign

Die Beobachtungsobjekte dieses Versuches waren die oben beschriebenen aufbereiteten Zahnhälften, die mit den Kombinationen der Einflussfaktoren präpariert wurden. Die einzelnen Versuchsgruppen wurden also durch die jeweiligen Zahnhälften, die mit der gleichen Kombination behandelt wurden, gebildet. Die in dem Versuch berücksichtigten Einflussfaktoren enthält die Tabelle 3.3.

Sofern der Unterschied zwischen den Körnungen  $25\mu\text{m}$  und  $27\mu\text{m}$  als nicht relevant

Tabelle 3.3: Einflussfaktor und ihre Ausprägungen

Einflussfaktor	Ausprägung
Geräte	Primus-CPE, Modus nass und RondoFlex, Modus trocken
Körnung des Pulvers	$50\mu\text{m}$ und $25\mu\text{m}$ bzw. $27\mu\text{m}$

angesehen werden kann, ist der Versuchsplan zwei-faktoriell und vollkombiniert aufgebaut.

Der Versuch wurde in jeder Kombination fünfmal wiederholt, d.h.  $n_{ijk} = 5$ . Dabei kennzeichnet der Index  $i$  das Gerät,  $j$  die Körnung des Pulvers und  $k$  die Wiederholung des Versuchs in der jeweiligen Kombination. Von einer Wechselwirkung zwischen den einzelnen Faktoren wird nicht ausgegangen.

Um systematische Fehler zu vermeiden, war die Reihenfolge der Versuche, d.h. welches Gerät mit welcher Partikelgröße zur Bestrahlung der Schmelzoberfläche eingesetzt wurde, vor Beginn dieses Versuches in einer Randomisationsliste festgelegt worden. Aus den gemessenen Breiten jedes Abschnittes wurde als Schätzwert für die Breite des Pulverstrahls der arithmetische Mittelwert und als Schätzwert für die Variabilität die Standardabweichung bestimmt.

### **3.3 Versuch zur Bestimmung der Abtragseffizienz**

Da es in der täglichen Praxis wichtig ist, die genaue Abtragsleistung der Geräte zu kennen, sollte in einem weiteren Versuch die Abtragseffizienz der beiden Geräte im Hinblick auf Schmelz und Dentin in Abhängigkeit von Gerät, Modus und Partikelgröße untersucht werden.

#### **3.3.1 Herstellung der Schmelzproben**

Im ersten Schritt wurde die Abtragsleistung im Schmelz untersucht. Die Zähne wurden auch für diesen Versuch in zwei gleichgroße Teile geteilt, so dass eine bukkale und eine linguale Hälfte entstand. Anschließend wurde im Bereich des Schmelzes eine plane Oberfläche geschaffen, indem die Zahnhälften erneut mit Spezialkleber auf einen Plexiglasobjektträger fixiert wurden. Mittels des Trennschleifsystems wurde die äußere Wölbung im

Schmelz beseitigt, so dass eine plane Schmelzoberfläche parallel zur Schnittfläche resultierte.

### **Aufbau und Durchführung des Versuches**

Die so hergestellten Proben wurden einzeln in Reagenzgläser (Mat.16) gegeben und bei 37°C für sieben Tage in einem Trockenschrank (Mat.18) aufbewahrt. Danach erfolgte die Bestimmung des Gewichtes jeder einzelnen Zahnhälfte. Die Proben wurden mit einer Pinzette (Mat.19) aus dem Reagenzglas entnommen und mit Hilfe einer Analysenwaage (Mat.20) gewogen. Die Messgenauigkeit der Waage betrug  $\Delta=0,01\text{mg}$ . Da die im Versuch zu erwartenden Gewichtsveränderungen nicht um mehrere Zehnerpotenzen größer sind als der durch möglichen Feuchtigkeitsverlust entstehende Fehler, wurde auch untersucht, ob durch Verlängerung der Trocknungszeit noch eine weitere Gewichtsveränderung zu beobachten war. Zu diesem Zweck wurde das Gewicht der Proben nach einer siebentägigen Trocknungszeit bestimmt. Anschließend wurden die Proben für weitere 48 Stunden in dem Trockenschrank aufbewahrt und nach dieser Zeit das Gewicht erneut bestimmt. Da kein weiterer Gewichtsverlust beobachtet werden konnte, wurde jedes Präparat für sieben Tage im Trockenschrank aufbewahrt. Um die Abtragsleistung der Kavitätenpulverstrahlgeräte zu untersuchen, wurden die jeweiligen Düsen in eine Halterung (Stabklemme) (Mat.21) so eingespannt, dass die Düse in einem 90°-Winkel zu der zu bestrahlenden Oberfläche ausgerichtet war. Die Zahnhälften wurden mit einer Pinzette aus den Reagenzgläsern entnommen und auf einer Laborhebebühne fixiert. Mit Hilfe der Laborhebebühne konnte der Abstand zwischen Düse und Probe variiert werden. Zwischen Düse und Probe wurde mittels eines 1 mm dicken Glasobjektträgers (Mat.1) ein Abstand von 1 mm eingestellt. Anschließend wurde die Schmelzoberfläche der Probe für 30 sec bestrahlt. Unmittelbar nach dem Versuch wurden die Proben zurück in den Trockenschrank gegeben und dort für weitere sieben Tage aufbewahrt. Danach wurden die Zahnhälften mit einer Pinzette aus dem Reagenzglas entnommen und das Gewicht auf der Analysenwaage erneut bestimmt und dokumentiert. Der absolute Gewichtsverlust, d.h. die Differenz des Gewichtes vor und nach der Präparation, beschreibt die Abtragsleistung des Gerätes.



### 3.3.2 Abtragsleistung im Dentin

Im nächsten Schritt wurde die Abtragsleistung im Dentin untersucht. Zur Erstellung der für diesen Versuch notwendigen Proben wurden die Zahnhälften des vorhergehenden Versuches erneut auf dem Plexiglasobjektträger mit lichthärtendem Kunststoff fixiert. Mit Hilfe der Säge wurde eine plane Oberfläche im Bereich des Dentins geschaffen. Der für die Bestimmung der Abtragsleistung im Schmelz beschriebene Versuchsaufbau und Versuchsaufbau wurden auch für die Bestimmung der Abtragsleistung im Dentin verwendet. Um die Effizienz, d.h. die Menge des abgetragenen Materials, zu bestimmen, wurde genau wie bei der Bestimmung des Abtrags im Schmelz die Differenz aus dem Gewicht der Probe vor und nach Durchführung des Versuches ermittelt. Die Trocknungszeit der Proben betrug auch hier sieben Tage.

### 3.3.3 Versuchsdesign und Versuchsgruppen

Mit Hilfe der oben beschriebenen Versuche sollte die Abtragsleistung der Geräte in Abhängigkeit des Modus (trocken oder nass) und der Körnung (Partikelgröße) untersucht werden. Die Bestrahlungszeit und der Abstand zwischen Düsenöffnung und zu bestrahlender Oberfläche (Schmelz bzw. Dentin) war konstant. Einige weitere mögliche Einfluss- oder Störgrößen, wie z.B. der Druck, waren durch das Gerät fest vorgegeben. Bei beiden Geräten wurde das Aluminiumoxid durch einen Luftstrahl auf die zu bearbeitende Oberfläche geblasen. Bei dem Gerät TGA konnte aus Düsen, die sich kreisförmig um die Austrittsöffnung des Aluminiumoxid-Strahls befanden, zusätzlich Wasser auf den Zahn gesprüht werden; diese Option war für RondoFlex nicht vorhanden. Der Luftdruck und damit die Austrittsgeschwindigkeit der Luft und der Partikel aus der Düsen Spitze konnte bei beiden Geräten nicht variiert werden, war jedoch bei dem Gerät Primus-CPE mit 6,5 bar höher als bei dem Gerät RondoFlex, bei dem der Austrittsdruck an der Düse 4,2 bar betrug. Beim Gerät Primus-CPE konnte die Körnung des Pulvers mit 25  $\mu\text{m}$  oder 50  $\mu\text{m}$  gewählt werden. Für das Gerät RondoFlex wurde vom Hersteller Aluminiumoxid

mit der Körnung  $27\ \mu\text{m}$  und  $50\ \mu\text{m}$  zur Verfügung gestellt. Da die Bestrahlungszeit und der Abstand der Austrittsdüse vom Objekt einen Einfluss auf die Effizienz haben, wurden diese beiden Einflussparameter in diesem Versuch konstant gehalten. Als Bestrahlungszeit wurde  $t = 30\ \text{sec}$  und als Abstand der Düsen Spitze zum Objekt  $d = 1\ \text{mm}$  für den gesamten Versuch festgelegt.

Die auf Grund der Vorgaben der Hersteller möglichen Kombinationen und die sich daraus ergebenden abhängigen, bzw. unabhängigen Gruppen enthält Tabelle 3.4.

Tabelle 3.4: Mögliche Kombinationen der Merkmalsausprägungen der Einflussfaktoren; Stichprobenumfang der Gruppe

Gerät	Modus	Körnung	Material		n
Primus-CPE	Trocken	$50\mu\text{m}$	Schmelz	Dentin	7
		$25\mu\text{m}$	Schmelz	Dentin	7
	Nass	$50\mu\text{m}$	Schmelz	Dentin	7
		$25\mu\text{m}$	Schmelz	Dentin	7
RondoFlex	Trocken	$50\mu\text{m}$	Schmelz	Dentin	7
		$27\mu\text{m}$	Schmelz	Dentin	7

Da der Einfluss der Körnung von besonderem Interesse war, wurde jeweils für ein Gerät die bukkale Hälfte des Zahns mit  $50\ \mu\text{m}$  und die linguale mit  $25\ \mu\text{m}$  (bzw.  $27\ \mu\text{m}$ ) und umgekehrt bestrahlt. Bei dieser Vorgehensweise wird der Zusammenhang genutzt, dass die Variabilität, d.h. die Unterschiede, zwischen den Zahnhälften kleiner sind als zwischen verschiedenen Zähnen. Somit handelt es sich also bei den durch die Körnung definierten Gruppen um abhängige Stichproben. Um Unterschiede zwischen den Geräten aufzeigen zu können, wurde die eine Seite der Zahnhälfte zuerst mit Gerät RondoFlex und anschließend die andere Seite der Zahnhälfte mit Gerät Primus-CPE behandelt und umgekehrt (Cross-Over Design). Auch bei dem Vergleich zwischen den Geräten handelt es sich wieder um abhängige Stichproben. In einem vor Versuchsbeginn erstellten Randomisationsplan wurde festgelegt, welcher Zahn, bzw. welche Zahnhälfte zu welchem Zeitpunkt im gesamten Ablauf des Versuchs mit welcher Kombination aus Gerät und Körnung unter trockenen

bzw. nassen Bedingungen bestrahlt werden sollte. Jeder Versuchsbedingung wurden 7 (unabhängige) Zahnhälften zugeordnet.

Folgende Teilfragestellungen sollten untersucht werden: Als erstes sollten die beiden Geräte unter Berücksichtigung der Faktoren Körnung und Material miteinander verglichen werden. Der Faktor Bestrahlungsmodus wurde in der Ausprägung trocken konstant gehalten. Auch die Möglichkeit einer Wechselwirkung zwischen den Faktoren wird in diesem Modell berücksichtigt. Bei dem Gerät Primus-CPE von TGA ist die Bestrahlung der Oberfläche mit Aluminiumoxid sowohl im trockenen wie auch im nassen Modus möglich. Daher soll für dieses Gerät der Einfluss der drei Faktoren, d.h. Modus, Material und Körnung untersucht werden. Dieser Teilversuchsplan hat demnach ein dreifaktorielles Design. Auch hier ist nicht auszuschließen, dass zwischen den zu untersuchenden Faktoren Wechselbeziehungen bestehen. Daher werden diese im Modell berücksichtigt.

Da die Firma TGA mit der Eigenschaft des Gerätes „Sprayeinrichtung“ wirbt, wird auch in diesem Modus das Primus-CPE Gerät mit dem RondoFlex Gerät unter Berücksichtigung des Materials und der Körnung verglichen.

### **3.4 Relevanz für die klinische Anwendung - Vergleich der Kavitätenpulverstrahltechnik mit der konventionellen Methode**

In diesem Versuch wurden die Kavitätenpulverstrahlgeräte mit der konventionellen Präparationsmethode, d.h. mit rotierenden Instrumenten verglichen. Als Zielkriterium wurde dazu die Bearbeitungszeit, die zur Präparation einer definierten Kavität notwendig ist, festgelegt.

### **3.4.1 Probenherstellung**

Die Probenherstellung erfolgte auch hier mit Hilfe einer diamantierten Bandsäge. Es wurde von extrahierten, kariesfreien, menschlichen Molaren der radikuläre Anteil abgetrennt, so dass die Zahnkrone als Ganzes erhalten blieb. Der apikale Anteil der klinischen Zahnkrone wurde anschließend mit einem UV-Kleber auf einer Plexiglasplatte fixiert, so dass die okklusale Fläche des Zahnes für die Präparation zugänglich war. Es wurden Proben ausgewählt, die sich in Ihrer Form, Größe und Fissurenoberfläche ähnlich waren.

### **3.4.2 Aufbau und Durchführung des Versuches**

Die angefertigten Proben wurden auf einem Labortisch platziert. In Schreibstifthaltung wurde die Düse bzw. das Handstück des Kavitäten-Pulverstrahlgerätes manuell über den Zahn (d.h. über die Fissuren) geführt. Diese Bewegung wurde so oft wiederholt, dass eine Klasse I Kavität im Bereich der Zentralfissur der Okklusallfläche präpariert wurde. Die horizontale Ausdehnung der Kavität wurde so angelegt, dass die Integrität der Randleisten erhalten blieb. Die Tiefe der Kavität wurde auf etwa 2 mm begrenzt. Die benötigte Zeit zur Präparation der oben beschriebenen Kavität, wurde gemessen und festgehalten. Um eine Vergleichbarkeit der Proben zu gewährleisten, wurden die Tiefe und Breite der Kavitäten, so realisierbar, gleich groß gestaltet. Dabei wurde versucht, den Abstand von ca. 1 mm zwischen Düsenspitze und Zahnoberfläche während der gesamten Bearbeitungszeit einzuhalten.

Um bezüglich der Präparationsdauer einen Vergleich zwischen konventioneller- und KCP-Präparationstechnik anstellen zu können, wurden Kavitäten der Klasse I auf konventionelle Weise mit Hilfe eines diamantierten, rotierenden Instrumentes (Mat.22) in einem roten Winkelstück (Mat.23) bei 40000 U/min präpariert. Es wurde auch hier präparatorisch die Zentralfissur der okklusalen Flächen eröffnet. Die Präparationsform dieser konventionell hergestellten Kavitäten, wurde der Präparationsform der Kavitäten des Pulverstrahl-

Verfahrens angeglichen. Es wurden für jedes Gerät bzw. das Winkelstück 2 Kavitäten präpariert, d.h  $n=2$ . Somit ist es gelungen, nahezu identische Kavitäten herzustellen, um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Präparationstechniken anstellen zu können.

## Kapitel 4

# Ergebnisse

### 4.1 Einfluss der einzelnen Arbeitsparameter auf die Streuung des Pulverstrahles

#### Breite des Pulverstrahls bei punktförmiger Bestrahlung

Als erstes wurde der Einfluss der Geräte, des Abstandes der Düse von der zu bestrahlenden Oberfläche und der Körnung auf die Breite des Strahles beim Auftreffen auf die mit einer schwarzen Lackschicht versehenen Glasoberfläche untersucht. Die Größe der bestrahlten Fläche wird durch den horizontalen (x) und vertikalen (y) Durchmesser beschrieben. Die Verteilung der in diesem Teilversuch gewonnenen Daten für die beiden Durchmesser geben die beiden Tabellen A.1 und A.2 im Anhang wieder. Für beide Durchmesser zeigt der Vergleich der Mittelwerte ebenso wie auch der Median eine Zunahme der Durchmesser bei größer werdendem Abstand und für das Gerät RondoFlex auch eine Zunahme bei gröberer Körnung. Für das Gerät Primus-CPE kann diese Tendenz bezüglich der Körnung nicht beobachtet werden. Die Frage, ob diese beobachteten Unterschiede als zufällig betrachtet werden müssen, das heißt, welchen Einfluss die Geräte, die Körnung oder der Abstand

Tabelle 4.1: Ergebnisse der Varianzanalyse, horizontaler Durchmesser

Ursache	SAQ	df	MAQ	F-Wert	p-Wert
Gerät	0,309	1	0,309	41,474	<0,0001
Körnung	0,301	1	0,301	40,478	<0,0001
Abstand	12,684	2	6,342	852,558	<0,0001
Gerät x Körnung	0,553	1	0,553	74,357	<0,0001
Gerät x Abstand	0,007	2	0,003	0,456	0,6348
Körnung x Abstand	0,332	2	0,166	22,345	<0,0001
Fehler	1,265	170	0,007		

Mit Hilfe der Varianzanalyse wird die gesamte beobachtete Variabilität zerlegt in einzelne Komponenten, die 1. Spalte kennzeichnet diese Komponenten, die 2. Spalte gibt den absoluten Anteil wieder, der auf diese Komponente zurückzuführen ist, die 3. Spalte enthält die zugehörigen Freiheitsgrad, die 4. Spalte das mittlere Abweichungsquadrat, die 5. Spalte den berechneten Wert der F-verteilten Teststatistik und die 6. Spalte die unter der Annahme das der Faktor keinen Einfluss hat ( $H_0$ ) berechnete zugehörige Wahrscheinlichkeit für das beobachtete oder ein extremeres Ereignis

auf die Größe der bestrahlten Fläche haben, wurde mit Hilfe der drei-faktoriellen Varianzanalyse untersucht. Die Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung getrennt für den horizontalen und vertikalen Durchmesser geben die Tabellen 4.1 und 4.2 wieder.

Für die Größe der bestrahlten Fläche, beschrieben durch den horizontalen Durchmesser kann mit Hilfe der Varianzanalyse ein deutlicher Einfluss des Abstandes ( $p < 0,001$ ), der Körnung ( $p < 0,001$ ) und der Geräte ( $p < 0,001$ ) aufgezeigt werden. Allerdings finden sich auch Hinweise, dass der Effekt der Körnung vom Gerät abhängig ist ( $p < 0,001$ ). Ebenso ist auch der Effekt der Körnung vom Abstand der Düse von der zu bestrahlenden Oberfläche abhängig ( $p < 0,001$ ).

Tabelle 4.2: Ergebnisse der Varianzanalyse, vertikaler Durchmesser

Ursache	SAQ	df	MAQ	F-Wert	p-Wert
Gerät	0,929	1	0,929	70,532	<0,0001
Körnung	0,148	1	0,148	11,262	0,0010
Abstand	12,235	2	6,118	464,708	<0,0001
Gerät x Körnung	0,873	1	0,873	66,340	<0,0001
Gerät x Abstand	0,012	2	0,006	0,475	0,6229
Körnung x Abstand	0,188	2	0,094	7,154	0,0010
Fehler	2,238	170	0,013		

Mit Hilfe der Varianzanalyse wird die gesamte beobachtete Variabilität zerlegt in einzelne Komponenten, die 1. Spalte kennzeichnet diese Komponenten, die 2. Spalte gibt den absoluten Anteil wieder, der auf diese Komponente zurückzuführen ist, die 3. Spalte enthält die zugehörigen Freiheitsgrade, die 4. Spalte das mittlere Abweichungsquadrat, die 5. Spalte den berechneten Wert der F-verteilter Teststatistik und die 6. Spalte die unter der Annahme, dass der Faktor keinen Einfluss hat ( $H_0$ ) berechnete zugehörige Wahrscheinlichkeit für das beobachtete oder ein extremeres Ereignis.

Ebenso wie für den horizontalen Durchmesser kann auch für den vertikalen Durchmesser zur Beschreibung der Größe der bestrahlten Fläche ein Einfluss der Geräte ( $p < 0,0001$ ), ein Einfluss des Abstandes ( $p < 0,0001$ ) und der Körnung ( $p = 0,0010$ ) aufgezeigt werden. Auch für den vertikalen Durchmesser kann deutlich gezeigt werden, dass der Effekt der Körnung vom Gerät ( $p < 0,0001$ ) und auch vom Abstand ( $p = 0,0010$ ) abhängig ist. In den folgenden Tabellen 4.3 und 4.4 wird in Abhängigkeit von dem Gerät, dem Abstand der Düse und der Körnung der mittlere beobachtete Durchmesser in vertikaler und horizontaler Richtung und das zugehörige 95%-Konfidenzintervall zur Beschreibung der Genauigkeit des Schätzwertes angegeben.



Tabelle 4.3: Mittlerer horizontaler Durchmesser und zugehöriges 95%-Konfidenzintervall der bestrahlten punktförmigen Fläche in Abhängigkeit vom Gerät, der Körnung und dem Abstand der Düse zur Oberfläche

Gerät	Körnung	Abstand	n	Mittelwert	95%-Konfidenz-intervall
RondoFlex	27 $\mu\text{m}$	1 mm	15	0,896 mm	[0,863 mm ; 0,929 mm]
		2 mm	15	1,116 mm	[1,077 mm ; 1,154 mm]
		3 mm	15	1,479 mm	[1,423 mm ; 1,536 mm]
	50 $\mu\text{m}$	1 mm	15	1,027 mm	[0,983 mm ; 1,071 mm]
		2 mm	15	1,296 mm	[1,258 mm ; 1,334 mm]
		3 mm	15	1,746 mm	[1,648 mm ; 1,843 mm]
Primus-CPE	25 $\mu\text{m}$	1 mm	15	0,928 mm	[0,910 mm ; 0,947 mm]
		2 mm	15	1,189 mm	[1,157 mm ; 1,222 mm]
		3 mm	15	1,458 mm	[1,434 mm ; 1,481 mm]
	50 $\mu\text{m}$	1 mm	15	0,861 mm	[0,831 mm ; 0,892 mm]
		2 mm	15	1,030 mm	[0,980 mm ; 1,080 mm]
		3 mm	15	1,597 mm	[1,555 mm ; 1,639 mm]

Die 1. Spalte kennzeichnet das Gerät, die 2. die Körnung und die 3. den Abstand der Düse von der zu bestrahlenden Oberfläche, die 4. enthält den jeweiligen Stichprobenumfang (n), die 5. den Mittelwert und die 6 Spalte enthält das zugehörige 95%-Konfidenzintervall

Tabelle 4.4: Mittlerer vertikaler Durchmesser und zugehöriges 95%-Konfidenzintervall der bestrahlten punktförmigen Fläche in Abhängigkeit vom Gerät, der Körnung und dem Abstand der Düse zur Oberfläche

Gerät	Körnung	Abstand	n	Mittelwert	95%-Konfidenz-intervall
RondoFlex	25 $\mu\text{m}$	1 mm	15	0,903 mm	[0,880 mm ; 0,926 mm]
		2 mm	15	1,093 mm	[1,047 mm ; 1,139 mm]
		3 mm	15	1,440 mm	[1,385 mm ; 1,495 mm]
	50 $\mu\text{m}$	1 mm	15	1,020 mm	[0,976 mm ; 1,063 mm]
		2 mm	15	1,298 mm	[1,250 mm ; 1,346 mm]
		3 mm	15	1,708 mm	[1,623 mm ; 1,792 mm]
Primis CPE	27 $\mu\text{m}$	1 mm	15	1,147 mm	[1,014 mm ; 1,280 mm]
		2 mm	15	1,411 mm	[1,368 mm ; 1,454 mm]
		3 mm	15	1,727 mm	[1,698 mm ; 1,757 mm]
	50 $\mu\text{m}$	1 mm	15	1,031 mm	[0,964 mm ; 1,098 mm]
		2 mm	15	1,253 mm	[1,188 mm ; 1,318 mm]
		3 mm	15	1,755 mm	[1,710 mm ; 1,799 mm]

Die 1. Spalte kennzeichnet das Gerät, die 2. die Körnung und die 3. den Abstand der Düse von der zu bestrahlenden Oberfläche, die 4. enthält den jeweiligen Stichprobenumfang (n), die 5. den Mittelwert und die 6. Spalte enthält das zugehörige 95%-Konfidenzintervall

In Abbildung 4.1 wird die Größe der bestrahlten Fläche in Abhängigkeit vom Gerät, dem Abstand der Düse und der Körnung für den horizontalen Durchmesser graphisch dargestellt.

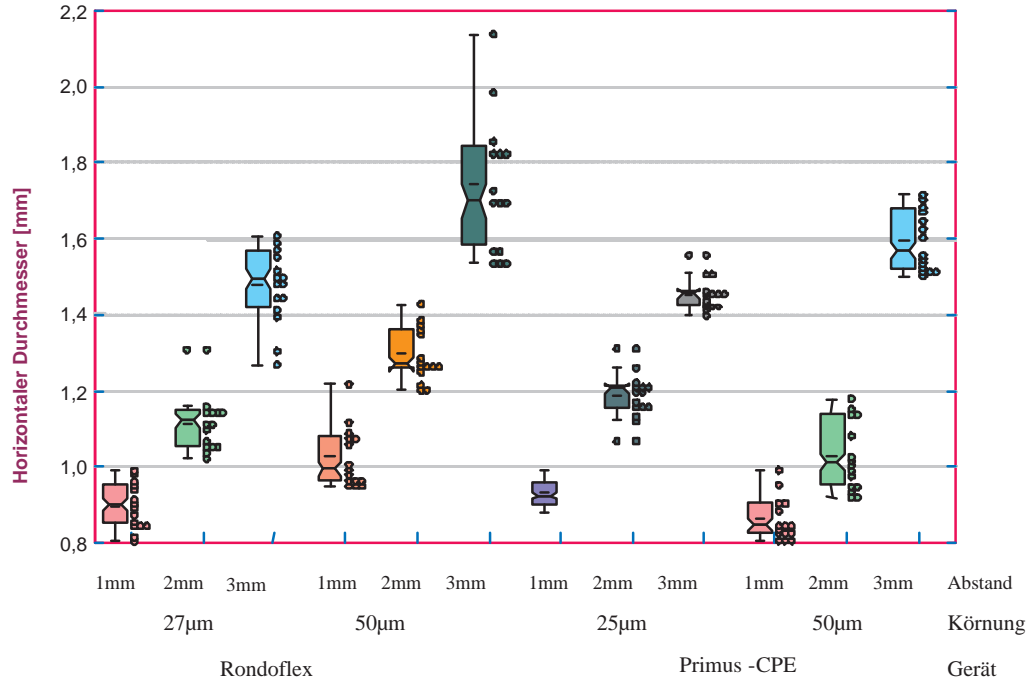


Abbildung 4.1: Verteilung der beobachteten horizontalen Durchmesser in Abhängigkeit von Gerät, Körnung und Abstand der Düse zur Oberfläche

Die Verteilung der beobachteten Werte wird durch die entsprechenden Punktwolken und mit Hilfe der "Box and Whisker plots" dargestellt. Die von der Box ausgehenden Striche kennzeichnen den kleinsten und größten beobachteten Wert. Die Box selbst ist durch das erste und dritte Quartil gekennzeichnet. Der durchgehende Strich zwischen den beiden Quartilen kennzeichnet den Median (2. Quartil). Die Kerben um den Median kennzeichnen das 95%-Konfidenzintervall des Medians. Der schmale Strich innerhalb der Box gibt den arithmetischen Mittelwert an.

In Abbildung 4.2 wird die Größe der bestrahlten Fläche beschrieben durch den vertikalen Durchmesser in Abhängigkeit vom Gerät, dem Abstand der Düse und der Körnung graphisch dargestellt.

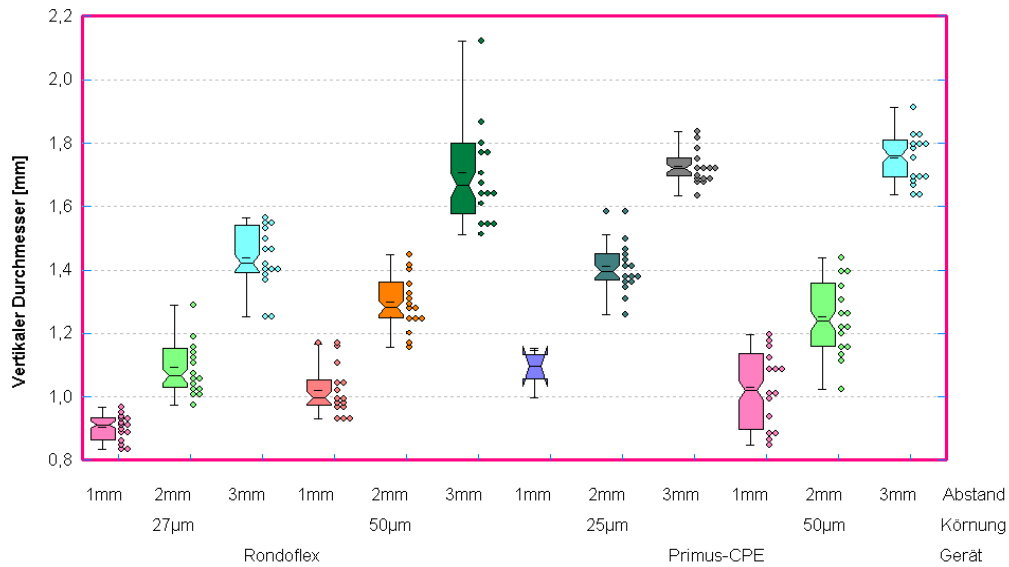


Abbildung 4.2: Verteilung der beobachteten vertikalen Durchmesser in Abhängigkeit von Gerät, Körnung und Abstand der Düse zur Oberfläche

Die Verteilung der beobachteten Werte wird durch die entsprechenden Punktwolken und mit Hilfe der „Box and Whisker plots“ dargestellt. Die von der Box ausgehenden Striche kennzeichnen den kleinsten und größten beobachteten Wert. Die Box selbst ist durch das erste und dritte Quartil gekennzeichnet. Der durchgehende Strich zwischen den beiden Quartilen kennzeichnet den Median (2. Quartil). Die Kerben um den Median kennzeichnen das 95%-Konfidenzintervall des Medians. Der schmale Strich innerhalb der Box gibt den arithmetischen Mittelwert an.

Der mit Hilfe der Varianzanalyse aufgezeigte Einfluß des Abstandes, der Körnung und der Geräte ist auch in den beiden Graphiken deutlich erkennbar. Mit zunehmendem Abstand werden die bestrahlten Flächen größer. Bei dem Gerät RondoFlex werden bei größerer Körnung bei gleichem Abstand größere Flächen als bei kleinerer Körnung bestrahlt. Diese Tendenz kann beim Gerät Primus-CPE nicht durchgängig beobachtet werden.

## 4.2 Breite des Pulverstrahls bei der Präparation einer Kavität in einer planen Schmelzoberfläche

Im zweiten Teilversuch wurde die Breite des Pulverstrahles unter Einfluss der Geräte und der Körnung anhand einer in eine plane Schmelzoberfläche präparierten Kavität untersucht. In der Tabelle A.3 des Anhangs werden die die Verteilung beschreibenden

Parameter getrennt für die Geräte und die Körnung des verwendeten Pulverstrahls angegeben. Abbildung 4.3 stellt die Verteilung der beobachteten Kavitätenbreiten auf der planen Schmelzoberfläche unter Berücksichtigung der Geräte und der Körnung graphisch dar.

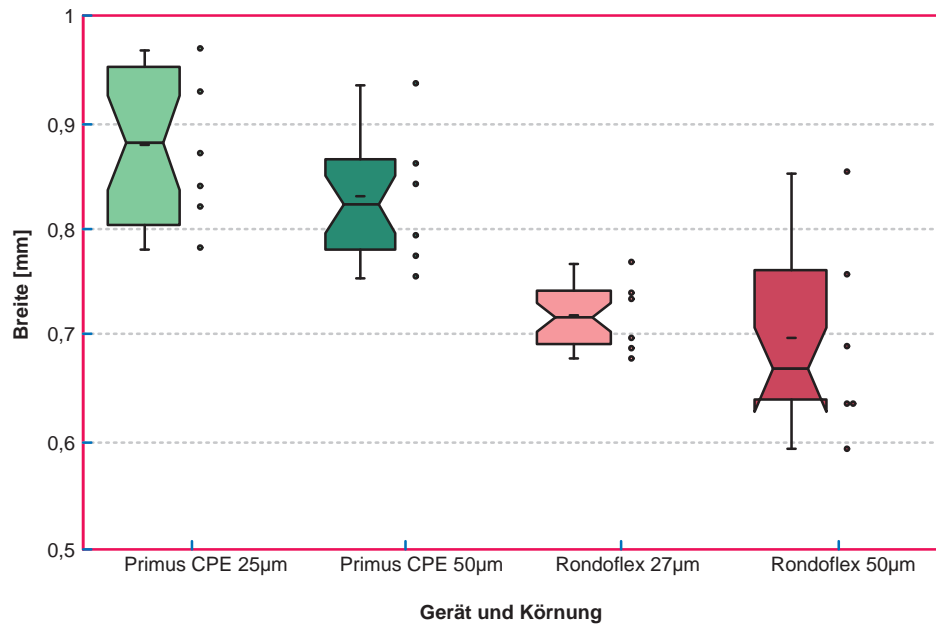


Abbildung 4.3: Verteilung der beobachteten Kavitätenbreiten in Abhängigkeit von Gerät und Körnung bei einem Düsenabstand von ca. 1 mm

Die Verteilung der beobachteten Werte wird durch die entsprechenden Punktwolken und mit Hilfe der „Box and Whisker plots“ dargestellt. Die von der Box ausgehenden Striche kennzeichnen den kleinsten und größten beobachteten Wert. Die Box selbst ist durch das erste und dritte Quartil gekennzeichnet. Der durchgehende Strich zwischen den beiden Quartilen kennzeichnet den Median (2. Quartil). Die Kerben um den Median kennzeichnen das 95%-Konfidenzintervall des Medians. Der schmale Strich innerhalb der Box gibt den arithmetischen Mittelwert an.

Die Untersuchung der Frage, ob die Geräte oder die Körnung einen Einfluss auf die beobachtete Breite der präparierten Kavitäten haben, wurde mit Hilfe varianzanalytischer Methoden durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse enthält die Tabelle 4.5.

In der Abbildung 4.3 kann ein deutlicher Unterschied zwischen den Geräten bezüglich der Breite der präparierten Kavität beobachtet werden. Bei dem Gerät RondoFlex konnte bei der Körnung 27 µm im Mittel eine Kavitätenbreite von 0,719 mm und bei der Körnung

Tabelle 4.5: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter „Breite der in eine plane Schmelzoberfläche präparierten Kavität“, zur Überprüfung des möglichen Einflusses der Faktoren Gerät und Körnung.

Ursache	SAQ	df	MAQ	F-Wert	p-Wert
Gerät	0,123	1	0,123	25,126	0,0001
Körnung	0,006	1	0,006	1,195	0,2874
Gerät x Körnung	0,001	1	0,001	0,115	0,7380
Zufällige Fehler	0,098	20	0,005		

Die erste Spalte kennzeichnet die jeweiligen Faktoren, die zweite Spalte enthält die Summe der Abweichungsquadrate, die auf diesen Faktor zurückzuführen sind, die dritte Spalte enthält die zugehörigen Freiheitsgrade, die vierte Spalte enthält das mittlere Abweichungsquadrat als Schätzwert für die Variabilität (unter  $H_0$ ), die fünfte Spalte enthält den zugehörigen Wert der Teststatistik (F-verteilt) und die letzte Spalte enthält die Wahrscheinlichkeit für das beobachtete oder ein extremeres Ereignis unter  $H_0$ .

50  $\mu\text{m}$  von 0,697 mm beobachtet werden. Die Kavitäten waren im Mittel schmäler als die Kavitäten, die mit dem Gerät Primus-CPE präpariert wurden (Körnung 25  $\mu\text{m}$ : 0,871 mm und 50  $\mu\text{m}$ : 0,831 mm). Dieser Unterschied konnte mit Hilfe der Varianzanalyse bestätigt werden, ( $p < 0,001$ ). Der in der Tabelle bzw. Graphik beobachtbare Unterschied bezüglich der Kavitätenbreite zwischen den beiden Körnungen muss aufgrund der varianzanalytischen Ergebnisse als zufällig angesehen werden, d.h. ein Einfluss der Körnung auf die Breite der Kavität konnte nicht gefunden werden,  $p = 0,287$ . Auch findet sich kein Hinweis darauf, dass der Unterschied zwischen den Geräten durch die Körnung beeinflusst wird,  $p = 0,738$ , d.h. der Unterschied bzgl. der Breite der Kavität zwischen den Geräten hängt nicht von der Körnung ab.

Tabelle 4.6 gibt getrennt für die Geräte und die Körnung des Pulvers die mittlere Kavitätenbreite und das zugehörige 95%-Konfidenzintervall wieder.

Da kein Hinweis auf einen Einfluss der Körnung und auf das Vorliegen einer Wechselwirkung gefunden werden kann, wird im Folgenden die mittlere Breite der Kavitäten nur in Abhängigkeit vom Gerät angegeben. Im Mittel beträgt die Breite der Kavität, die mit dem Gerät RondoFlex unter den Bedingungen dieses Versuchs erzeugt wird  $\bar{x} = 0,708$

Tabelle 4.6: Mittlere Kavitätenbreite und zugehöriges 95%-Konfidenzintervall getrennt nach Gerät und Körnung.

Gerät	n	Körnung	Mittelwert	95%-Konfidenzintervall
RondoFlex	6	27 $\mu\text{m}$	0,719 mm	[0,682 mm ; 0,756 mm]
	6	50 $\mu\text{m}$	0,697 mm	[0,597 mm ; 0,797 mm]
Primus-CPE	6	25 $\mu\text{m}$	0,871 mm	[0,798 mm ; 0,945 mm]
	6	50 $\mu\text{m}$	0,831 mm	[0,762 mm ; 0,899 mm]

Die 1. Spalte kennzeichnet das Gerät, 2. enthält den jeweiligen Stichprobenumfang (n), die 3. die Körnung, die 4. den Mittelwert und die 5. Spalte enthält das zugehörige 95%-konfidenzintervall

mm, 95%-KI: [0,664 mm ; 0,752 mm],  $n = 12$  und mit dem Gerät Primus-CPE  $\bar{x} = 0,851$  mm, 95%-KI: [0,808 mm ; 0,894 mm],  $n = 12$ .

### 4.3 Bestimmung der Abtragseffizienz

Im nächsten Versuch wurde dann der Einfluss der Geräte und der Körnung auf die Abtragsleistung im Schmelz und dann im zweiten Teil auch im Dentin untersucht.

#### 4.3.1 Abtragsleistung im Schmelz

Die Verteilung der für die beiden Geräte unter Berücksichtigung der Körnung beobachteten Abtragsleistungen im Schmelz beschreiben die in der Tabelle A.4, Anhang, angegebenen Lage- und Streuungsparameter. Die Abbildung 4.4 gibt die Verteilungen getrennt für Gerät und Körnung graphisch wieder.

Wie der Graphik bzw. der Tabelle entnommen werden kann, wurde für Primus-CPE im Durchschnitt eine größere Abtragsleistung beobachtet als für RondoFlex. Auch war die

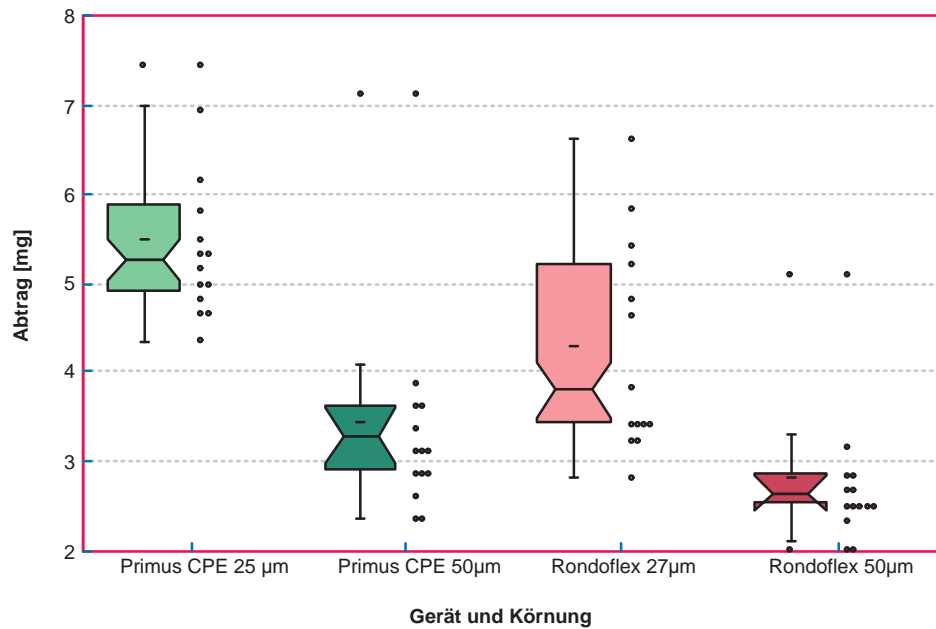


Abbildung 4.4: Verteilung des Schmelzabtrags in Abhängigkeit von Gerät und Körnung bei konstanter Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden

Die Verteilung der beobachteten Werte wird durch die entsprechenden Punktwolken und mit Hilfe der „Box and Whisker plots“ dargestellt. Die von der Box ausgehenden Striche kennzeichnen den kleinsten und größten beobachteten Wert. Die Box selbst ist durch das erste und dritte Quartil gekennzeichnet. Der durchgehende Strich zwischen den beiden Quartilen kennzeichnet den Median (2. Quartil). Die Kerben um den Median kennzeichnen das 95%-Konfidenzintervall des Medians. Der schmale Strich innerhalb der Box gibt den arithmetischen Mittelwert an.

durchschnittliche Abtragsleistung bei der kleineren Körnung höher als bei der Körnung 50  $\mu\text{m}$ . Die Frage, ob diese Unterschiede zufällig sind, oder ob Gerät und Körnung einen Einfluss auf die Abtragsleistung im Schmelz haben, wurden wieder mit varianzanalytischen Methoden (2-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf 2 Faktoren) untersucht. Die Ergebnisse werden in der Tabelle 4.7 wiedergegeben.

Wie der varianzanalytischen Tabelle entnommen werden kann, haben sowohl die Geräte als auch die Körnung des Pulvers einen Einfluss auf die bei einer Bestrahlung von 30 Sekunden erreichte Abtragsleistung im Schmelz. Jedoch kann nicht deutlich gezeigt werden, dass der Unterschied zwischen den Geräten von der Körnung des Pulvers abhängt. Unabhängig vom Gerät, d.h. gemittelt über beide Geräte ist die Abtragsleistung bei ei-



Tabelle 4.7: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter „Abtragsleistung im Schmelz“, zur Überprüfung des möglichen Einflusses der Faktoren Gerät und Körnung.

Ursache	SAQ	df	MAQ	F-Wert	p-Wert
Gerät	11,850	1	11,850	36,57	<0,0001
Zufäll. Fehler (Gerät)	4,212	13	0,324		
Körnung	44,002	1	44,002	27,80	0,0002
Zufäll. Fehler (Körnung)	20,576	13	1,583		
Gerät x Körnung	1,172	1	1,172	2,63	0,129
Zufäll. Fehler (Gerät x Körn.)	5,796	13	0,446		

Die erste Spalte kennzeichnet die jeweiligen Faktoren, bzw. den zugehörigen zufälligen Fehler, die zweite Spalte enthält die Summe der Abweichungsquadrate, die auf diesen Faktor zurückzuführen sind, die dritte Spalte enthält die zugehörigen Freiheitsgrade, die vierte Spalte enthält das mittlere Abweichungsquadrat als Schätzwert für die Variabilität (unter  $H_0$ ), die fünfte Spalte enthält den zugehörigen Wert der Teststatistik (F-verteilt) und die letzte Spalte enthält die Wahrscheinlichkeit für das beobachtete oder ein extremeres Ereignis unter  $H_0$ .

ner Körnung von 27  $\mu\text{m}$  bzw. 25  $\mu\text{m}$  deutlich höher als bei einer Körnung von 50  $\mu\text{m}$  ( $p < 0,001$ ). Ebenso findet sich ein deutlicher Hinweis, dass unabhängig von der Körnung die Abtragsleistung im Zahnschmelz bei dem Gerät Primus-CPE höher als bei dem Gerät RondoFlex ist. Es findet sich kein Hinweis auf eine Wechselwirkung ( $p = 0,13$ ). Tabelle 4.8 gibt getrennt für die Geräte und die Körnung des Pulvers die im Mittel beobachtete Abtragsleistung und das zugehörige 95%- Konfidenzintervall wieder.

Tabelle 4.8: Mittlere Abtragsleistung [mg] im Schmelz und zugehöriges 95%-Konfidenzintervall in Abhängigkeit von Gerät und Körnung bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden.

Gerät	n	Körnung	Mittelwert	95%-Konfidenzintervall
RondoFlex	14	27 $\mu\text{m}$	4,290 mg	[3,621 mg ; 4,959 mg]
	14	50 $\mu\text{m}$	2,806 mg	[2,384 mg ; 3,229 mg]
Primus-CPE	14	25 $\mu\text{m}$	5,499 mg	[5,000 mg ; 5,999 mg]
	14	50 $\mu\text{m}$	3,437 mg	[2,765 mg ; 4,109 mg]

Die 1. Spalte kennzeichnet das Gerät, 2. enthält den jeweiligen Stichprobenumfang (n), die 3. die Körnung, die 4. den Mittelwert und die 5. Spalte enthält das zugehörige 95%-konfidenzintervall

### 4.3.2 Abtragsleistung im Dentin

Im zweiten Teil dieses Versuches wurde der Einfluss der Geräte und der Körnung auf die Abtragsleistung im Dentin untersucht. Die für die Geräte bei den einzelnen Körnungen im Mittel beobachtete Abtragsleistung enthält Tabelle A.5 des Anhangs. Abbildung 4.5 gibt die Verteilung der Beobachteten Abtragsleistungen getrennt nach Gerät und Körnung die Parameter graphisch wieder.

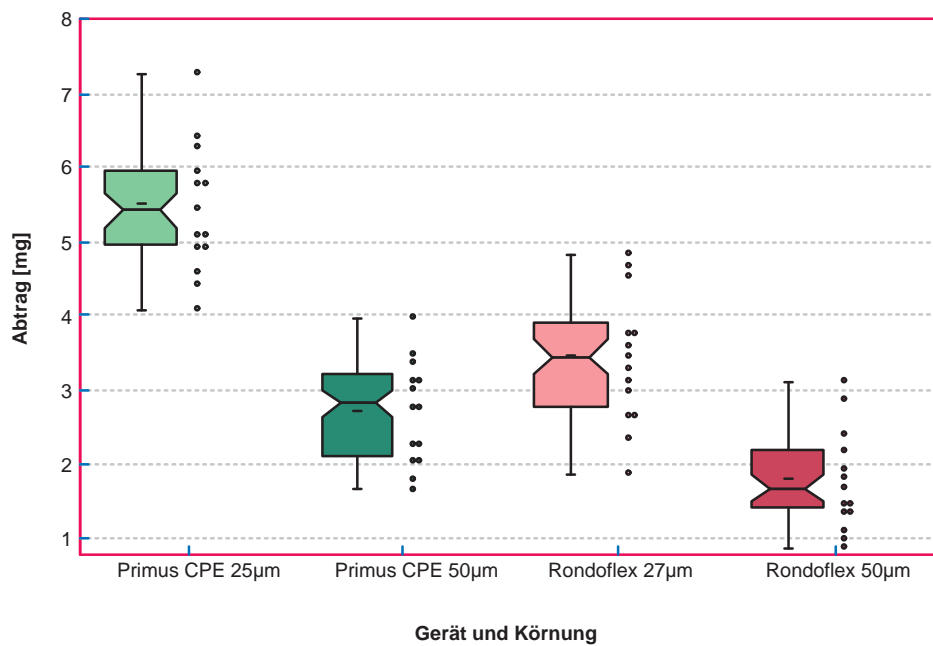


Abbildung 4.5: Verteilung der Abtragsleistung im Dentin bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden getrennt für Gerät und Körnung

Die Verteilung der beobachteten Werte wird durch die entsprechenden Punktwolken und mit Hilfe der „Box and Whisker plots“ dargestellt. Die von der Box ausgehenden Striche kennzeichnen den kleinsten und größten beobachteten Wert. Die Box selbst ist durch das erste und dritte Quartil gekennzeichnet. Der durchgehende Strich zwischen den beiden Quartilen kennzeichnet den Median (2. Quartil). Die Kerben um den Median kennzeichnen das 95%-Konfidenzintervall des Medians. Der schmale Strich innerhalb der Box gibt den arithmetischen Mittelwert an.

Auch für die in diesem Teilversuch gewonnenen Daten wurde der mögliche Einfluss von Gerät und Körnung varianzanalytisch untersucht. Die Ergebnisse enthält Tabelle 4.9.

Tabelle 4.9: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter „Abtragsleistung im Dentin“, zur Überprüfung des möglichen Einflusses der Faktoren Gerät und Körnung bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden

Ursache	SAQ	df	MAQ	F-Wert	p-Wert
Gerät	30,740	1	30,740	28,24	<0,0001
Zufäll. Fehler (Gerät)	14,149	13	1,088		
Körnung	68,046	1	68,046	178,92	<0,0001
Zufäll. Fehler (Körnung)	4,944	13	0,380		
Gerät x Körnung	4,577	1	4,577	21,81	0,0004
Zufäll.Fehler (GerätxKörn.)	2,781	13	0,210		

Die erste Spalte kennzeichnet die jeweiligen Faktoren, bzw. den zugehörigen zufälligen Fehler, die zweite Spalte enthält die Summe der Abweichungsquadrate, die auf diesen Faktor zurückzuführen sind, die dritte Spalte enthält die zugehörigen Freiheitsgrade, die vierte Spalte enthält das mittlere Abweichungsquadrat als Schätzwert für die Variabilität (unter  $H_0$ ), die fünfte Spalte enthält den zugehörigen Wert der Teststatistik (F-verteilt) und die letzte Spalte enthält die Wahrscheinlichkeit für das beobachtete oder ein extremeres Ereignis unter  $H_0$ .

Wie der Tabelle 4.9 entnommen werden kann, kann für die Abtragsleistung im Dentin ein deutlicher Einfluss der Geräte (gemittelt über die Körnung), ( $p < 0,001$ ) und ein deutlicher Einfluss der Körnung (gemittelt über die Geräte), ( $p < 0,001$ ), beobachtet werden. Jedoch findet sich auch ein deutlicher Hinweis, dass der Einfluss der Körnung auf die Abtragsleistung im Dentin bei dem Gerät Primus-CPE größer als bei dem Gerät RondoFlex ist, ( $p < 0,001$ ).

Tabelle 4.10 gibt getrennt für die Geräte und die Körnung des Pulvers die im Mittel beobachtete Abtragsleistung wieder.

Tabelle 4.10: Mittlere Abtragsleistung [mg] im Dentin und zugehöriges 95%-Konfidenzintervall in Abhängigkeit von Gerät und Körnung bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden.

Gerät	n	Körnung	Mittelwert	95%-Konfidenzintervall
RondoFlex	14	27 $\mu\text{m}$	3,449 mg	[2,931 mg ; 3,968 mg]
	14	50 $\mu\text{m}$	1,816 mg	[1,433 mg , 2,200 mg]
Primus-CPE	14	25 $\mu\text{m}$	5,503 mg	[4,929 mg , 5,934 mg]
	14	50 $\mu\text{m}$	2,727 mg	[2,326 mg , 3,129 mg]

Die 1. Spalte kennzeichnet das Gerät, 2. enthält den jeweiligen Stichprobenumfang (n), die 3. die Körnung, die 4. den Mittelwert und die 5. Spalte enthält das zugehörige 95%-konfidenzintervall

Wie der Tabelle 4.10 und der Abbildung 4.5 entnommen werden kann, kann auch für die Abtragsleistung im Dentin ein höherer Abtrag bei der Körnung 25  $\mu\text{m}$ , bzw. 27  $\mu\text{m}$  (Primus-CPE: 5,503 mg; RondoFlex: 3,449 mg) als bei der Körnung 50  $\mu\text{m}$  (Primus-CPE: 2,727 mg; RondoFlex: 1,816 mg) beobachtet werden. Auch zwischen den Geräten kann ein Unterschied bezüglich der Abtragsleistung beobachtet werden. Bei dem Gerät Primus-CPE ist über beide Körnungen gemittelt der Abtrag höher als bei dem Gerät RondoFlex, jedoch muss berücksichtigt werden, dass der Unterschied zwischen den Geräten abhängig von der jeweils verwendeten Körnung ist.

### 4.3.3 Vergleich der Abtragsleistung im Modus Nass/ Trocken

#### Abtragsleistung im Schmelz

Als letzter Versuch dieser Reihe sollte der Einfluss des Modus „nass“ oder „trocken“ unter Berücksichtigung des möglichen Einflusses der Körnung untersucht werden. In diesem Versuch wurde nur das Gerät Primus-CPE berücksichtigt, da nur dieses Gerät über eine Sprayvorrichtung verfügte. Jeweils 7 weitere Zahnhälften wurden unter zusätzlichem Einsatz dieser Sprayvorrichtung mit Pulver der Körnung 25  $\mu\text{m}$  und 50  $\mu\text{m}$  bestrahlt. Zur

Überprüfung des Einflusses des Modus wurden die so ermittelten Abtragsleistungen mit denen bis auf den Modus unter gleichen Bedingungen gewonnenen Abtragsleistungen an  $n = 14$  Zahnhälften des vorangegangenen Versuchs verglichen. Bei trockener Bestrahlung kann bei der Körnung  $25\ \mu m$  eine mittlere Abtragsleistung von 5,499 mg und bei einer Körnung von  $50\ \mu m$  eine mittlere Abtragsleistung von 3,437 mg beobachtet werden. Bei zusätzlichem Einsatz der Sprayvorrichtung beträgt die mittlere Abtragsleistung bei der Körnung  $25\ \mu m$  5,664 mg und bei der Körnung  $50\ \mu m$  3,427 mg.

Die die Verteilung der beobachteten Abtragsleistungen beschreibenden Parameter enthält die Tabelle A.6 des Anhangs. Die folgende Abbildung 4.6 verdeutlicht die möglichen Unterschiede zwischen den Verteilungen der beobachteten Abtragsleistungen in Abhängigkeit von Körnung und Modus.

Wie der Graphik und der Tabelle entnommen werden kann, ist unabhängig vom Modus im Mittel bei der Körnung  $25\ \mu m$  die Abtragsleistung größer als bei der Körnung  $50\ \mu m$ . Eine Tendenz, die sich durch den Modus erklären lässt, kann in der Tabelle bzw. Graphik nicht beobachtet werden. Zur Überprüfung der möglichen Einflüsse der beide Faktoren Modus und Körnung wurden die für diese Fragestellung gewonnenen Daten für die Abtragsleistung im Schmelz mit Hilfe der 2-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor Körnung untersucht. Die Ergebnisse enthält die Tabelle 4.11.

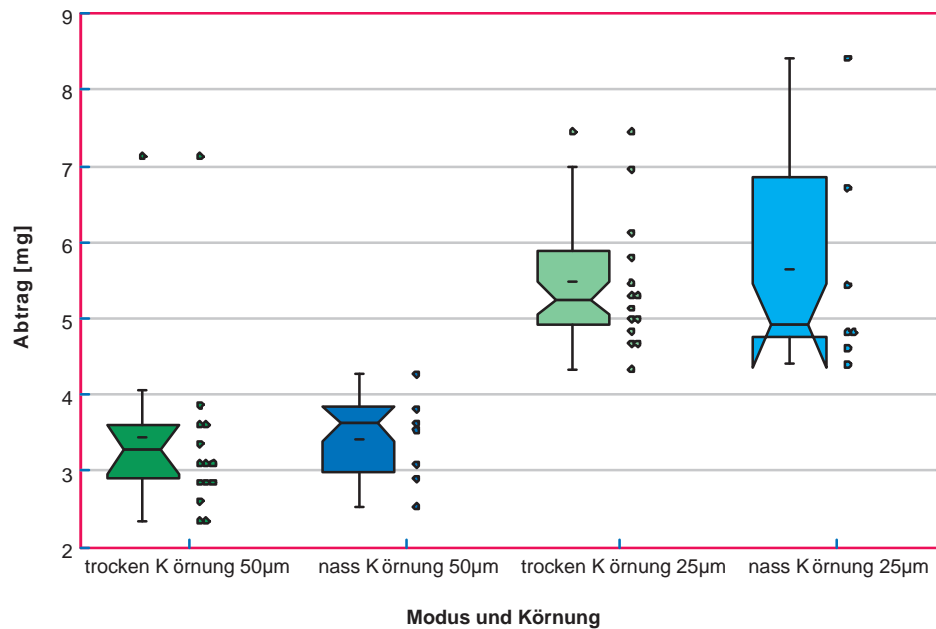


Abbildung 4.6: Verteilung der Abtragsleistung im Schmelz bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden getrennt für Modus und Körnung bei dem Gerät Primus-CPE.

Die Verteilung der beobachteten Werte wird durch die entsprechenden Punktwolken und mit Hilfe der „Box and Whisker plots“ dargestellt. Die von der Box ausgehenden Striche kennzeichnen den kleinsten und größten beobachteten Wert. Die Box selbst ist durch das erste und dritte Quartil gekennzeichnet. Der durchgehende Strich zwischen den beiden Quartilen kennzeichnet den Median (2. Quartil). Die Kerben um den Median kennzeichnen das 95%-Konfidenzintervall des Medians. Der schmale Strich innerhalb der Box gibt den arithmetischen Mittelwert an.

Es kann kein deutlicher Einfluss des Modus (nass / trocken) aufgezeigt werden, ( $p = 0,8035$ ). Auch in diesem Versuch hat die Körnung global, d.h. gemittelt über den Modus, einen Einfluss auf die Abtragsleistung, ( $p < 0,001$ ), auch kann keine Wechselwirkung aufgezeigt werden, das heißt, der für die Körnung beobachtbare Unterschied zwischen dem fein- und grob-körnigen Pulver ist nicht vom Modus abhängig ( $p = 0,8195$ ).

Die folgende Tabelle 4.12 gibt getrennt für den Modus und die Körnung des Pulvers die im Mittel beobachtete Abtragsleistung wieder.

Tabelle 4.11: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter „Abtragsleistung im Schmelz“, zur Überprüfung des möglichen Einflusses der Faktoren Körnung und Modus mit den Ausprägungen „nass“ und „trocken“.

Ursache	SAQ	df	MAQ	F-Wert	p-Wert
Modus	0,056	1	0,056	0,064	0,8035
Zufäll. Fehler (Modus)	16,732	19	0,881		
Körnung	43,129	1	43,129	32,325	<0,0001
Körnung x Modus	0,071	1	0,071	0,054	0,8195
Zufällige Fehler	6,441	19	0,339		

Die erste Spalte kennzeichnet die jeweiligen Faktoren, die zweite Spalte enthält die Summe der Abweichungsquadrate, die auf diesen Faktor zurückzuführen sind, die dritte Spalte enthält die zugehörigen Freiheitsgrade, die vierte Spalte enthält das mittlere Abweichungsquadrat als Schätzwert für die Variabilität (unter  $H_0$ ), die fünfte Spalte enthält den zugehörigen Wert der Teststatistik (F-verteilt) und die letzte Spalte enthält die Wahrscheinlichkeit für das beobachtete oder ein extremeres Ereignis unter  $H_0$ .

Tabelle 4.12: Mittlere Abtragsleistung [mg] im Schmelz und zugehöriges 95%-Konfidenzintervall für das Gerät Primus-CPE in Abhängigkeit von Körnung und Modus

Körnung	Modus	n	Mittelwert	95%-Konfidenzintervall
25 $\mu m$	trocken	14	5,499 mg	[4,999 , 5,999]
	Nass	7	5,664 mg	[4,318 , 7,010]
50 $\mu m$	trocken	14	3,437 mg	[2,765 , 4,109]
	Nass	7	3,427 mg	[2,888 , 3,966]

Die 1. Spalte kennzeichnet die Körnung, 2. enthält den jeweiligen Modus, 3. enthält den jeweiligen Stichprobenumfang (n), die 4. den Mittelwert und die 5. Spalte enthält das zugehörige 95%-konfidenzintervall

Da in dem Versuchsaufbau im Modus Trocken je 7 Zahnhälften erst mit dem Gerät Ron-doFlex und dann mit dem Gerät Primus-CPE und umgekehrt behandelt wurden (Cross-over Design), erhält man für das Gerät Primus-CPE für beide Körnungen jeweils einen Stichprobenumfang von  $n = 14$ .

## Abtragsleistung im Dentin

Ebenso wie für die Untersuchung des Einflusses des Modus auf die Abtragsleistung im Schmelz wurden für die Untersuchung des Einflusses des Modus auf die Abtragsleistung im Dentin 7 weitere Zahnhälften mit den beiden Körnungen  $25\text{ }\mu\text{m}$  und  $50\text{ }\mu\text{m}$  unter Einsatz der Sprayvorrichtung bestrahlt. Die Parameter, die die Verteilung der für Dentin gewonnenen Abtragsleistungen beschreiben, werden in der Tabelle A.7 des Anhanges wiedergegeben.

Die Abbildung 4.7 beschreibt den Substanzabtrag von Dentin in Abhängigkeit vom Modus und der Körnung des Pulvers bei einer konstanten Bestrahlungsdauer.

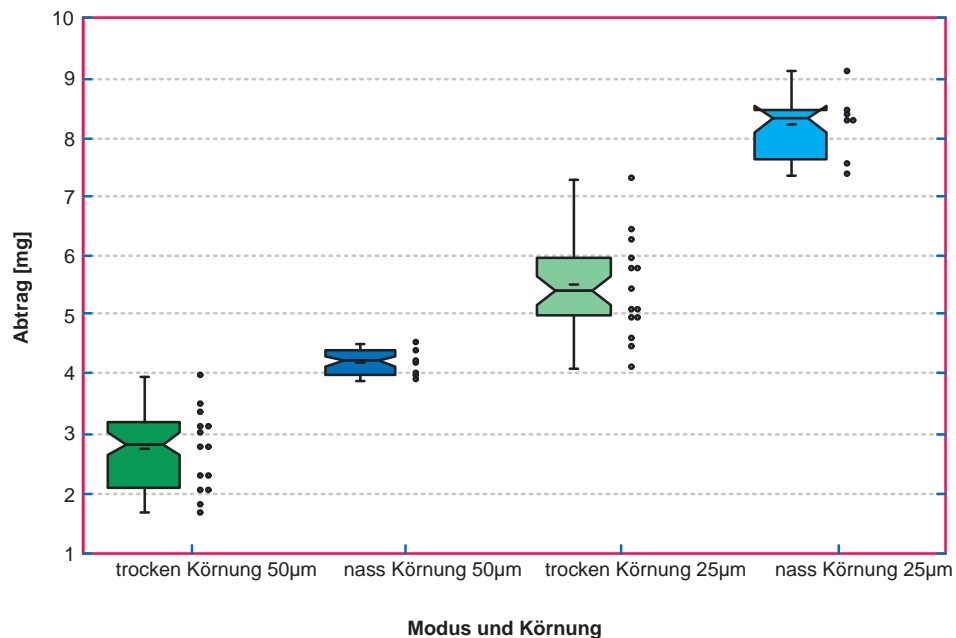


Abbildung 4.7: Verteilung der Abtragsleistung im Dentin bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden getrennt für Modus und Körnung bei dem Gert Primus-CPE.

Die Verteilung der beobachteten Werte wird durch die entsprechenden Punktwolken und mit Hilfe der „Box and Whisker plots“ dargestellt. Die von der Box ausgehenden Striche kennzeichnen den kleinsten und größten beobachteten Wert. Die Box selbst ist durch das erste und dritte Quartil gekennzeichnet. Der durchgehende Strich zwischen den beiden Quartilen kennzeichnet den Median (2. Quartil). Die Kerben um den Median kennzeichnen das 95%-Konfidenzintervall des Medians. Der schmale Strich innerhalb der Box gibt den arithmetischen Mittelwert an.



Bei der Körnung  $25\ \mu\text{m}$  beträgt im Modus trocken die Abtragsleistung im Mittel 5,503 mg und im Modus nass 8,227 mg. Bei der Körnung  $50\ \mu\text{m}$  ist die Abtragsleistung geringer, 2,726 mg im Modus trocken und 4,170 mg im Modus nass. Die Ergebnisse der Varianzanalytischen Auswertung (2-faktorielle VA mit Messwiederholung auf einem Faktor) enthält die folgende Tabelle 4.13.

Tabelle 4.13: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter „Abtragsleistung im Dentin“, zur Überprüfung des möglichen Einflusses der Faktoren Körnung und Modus.

Ursache	SAQ	df	MAQ	F-Wert	p-Wert
Modus (nass/trocken)	40,532	1	40,532	64,05	<0,0001
Zufäll. Fehler (Modus)	12,024	19	0,633		
Körnung	108,961	1	108,961	321,44	<0,0001
Körnung x Modus	3,827	1	3,827	11,29	0,0033
Zufällige Fehler	6,441	19	0,339		

Die erste Spalte kennzeichnet die jeweiligen Faktoren, die zweite Spalte enthält die Summe der Abweichungsquadrate, die auf diesen Faktor zurückzuführen sind, die dritte Spalte enthält die zugehörigen Freiheitsgrade, die vierte Spalte enthält das mittlere Abweichungsquadrat als Schätzwert für die Variabilität (unter  $H_0$ ), die fünfte Spalte enthält den zugehörigen Wert der Teststatistik (F-verteilt) und die letzte Spalte enthält die Wahrscheinlichkeit für das beobachtete oder ein extremeres Ereignis unter  $H_0$ .

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass es global, d.h. gemittelt über die Körnung, einen deutlichen Unterschied zwischen den Modi gibt. Durch den zusätzlichen Einsatz der Sprüheinrichtung kann im Dentin eine höhere Abtragsleistung erzielt werden als im trockenen Modus, ( $p < 0,001$ ). Auch für den Faktor Körnung kann ein deutlicher Einfluss aufgezeigt werden. Mit der kleinen Körnung kann eine größere Abtragsleistung erzielt werden als mit der gröberen Körnung, ( $p < 0,001$ ). Außerdem kann gezeigt werden, dass der Unterschied in der Abtragsleistung zwischen den beiden Modi von der Körnung abhängig ist ( $p = 0,003$ ). Bei der Körnung  $50\ \mu\text{m}$  ist der Unterschied zwischen den Modi geringer als bei der Körnung  $25\ \mu\text{m}$ .

Die folgende Tabelle 4.14 gibt getrennt für den Modus und die Körnung des Pulvers die im Mittel beobachtete Abtragsleistung im Dentin und das zugehörige 95%-Konfidenzintervall wieder.

Tabelle 4.14: Mittlere Abtragsleistung [mg] im Dentin und zugehöriges 95%-Konfidenzintervall für das Gerät Primus-CPE in Abhängigkeit von Körnung und Modus

Körnung	Modus	n	Mittelwert	95%-Konfidenzintervall
25 $\mu m$	trocken	14	5,503 mg	[4,929 mg , 5,934 mg]
	Nass	7	8,227 mg	[7,684 mg , 8,770 mg]
50 $\mu m$	trocken	14	2,726 mg	[2,326 mg , 3,129 mg]
	Nass	7	4,170 mg	[3,961 mg , 4,379 mg]

Die 1. Spalte kennzeichnet die Körnung, die 2. enthält den jeweiligen Modus, 3. enthält den jeweiligen Stichprobenumfang (n), die 4. den Mittelwert und die 5. Spalte enthält das zugehörige 95%-Konfidenzintervall

Wie schon für den Abtrag im Schmelz erläutert, ist auch für den Abtrag im Dentin ein unterschiedlicher Stichprobenumfang im Modus nass und trocken zu beobachten.

#### 4.4 Relevanz für die klinische Anwendung - Vergleich der Kavitätenpulverstrahltechnik mit der konventionellen Methode

In diesem Versuch wurden die Kavitätenpulverstrahlgeräte mit der konventionellen Präparationsmethode, d.h. mit rotierenden Instrumenten verglichen. Es wurden Klasse I Kavitäten im Bereich der Zentralfissur unter Erhalt der Randleiste präpariert. Die Präparation erfolgte für je 2 Zähne für die beiden Pulverstrahlgeräte und das rotierende Instrument. Als Kriterium zur Beurteilung der klinischen Relevanz wurde die Bearbeitungszeit, die zur Präparation einer Kavität notwendig ist (Präparationszeit), festgelegt. Die Fertigstellung war erreicht, sobald der Bereich der Zentralfissur der Okklusalfäche in einer Tiefe von 2 mm präpariert war. Dies konnte optisch abgeschätzt werden. Um eine Vergleichbarkeit der Proben zu gewährleisten, wurde die Ausdehnung der Kavitäten in Tiefe und Breite, soweit realisierbar, gleich gestaltet.

Tabelle 4.15: Bearbeitungszeit [sec] für die Präparation einer Kavität

Gerät	n	Präparationszeit (Kavität 1/ Kavität 2)	Mittelwert
Primus-CPE (50 $\mu m$ )	2	167 sec/ 185 sec	176 sec
RondoFlex (50 $\mu m$ )	2	245 sec/ 230 sec	237 sec
Winkelstück (rot)	2	15 sec/ 17 sec	16 sec

Die erste Spalte kennzeichnet das Gerät, die 2. enthält den Stichprobenumfang, die 3. enthält die Bearbeitungszeiten für die erste (links) und die zweite (rechts) Kavität, die 4. Spalte den Mittelwert.

Die Tabelle 4.15 zeigt deutlich, dass die Zeit, die notwendig ist, eine definierte Kavität zu präparieren, bei den Kavitätenpulverstrahlgeräten sehr viel höher als bei der konventionellen Technik mit dem Winkelstück ist. Im Vergleich zu der konventionellen Methode ist die zur Präparation mit KCP-Geräten notwendige Zeit 11 - 15 mal größer. Im Vergleich zwischen den KCP-Geräten ist die Präparationsdauer des Primus-CPE kürzer als die des RondoFlex.

# Kapitel 5

## Diskussion

### 5.1 Methode

#### 5.1.1 Bestimmung der Breite des Pulverstrahls

##### **Breite des Pulverstrahls bei punktförmiger Bestrahlung eines Objektes**

Mit diesem Versuchsmodell konnte der Radius des Pulverstahles in Abhängigkeit von Gerät, Körnung und Abstand der Düse durch einmalige, punktförmige Bestrahlung der Glasoberfläche bestimmt werden. Die Oberflächen der Glasobjektträger wurden dünn mit schwarzem Lack beschichtet, um den Rand der bestrahlten Flächen deutlicher zu kennzeichnen und genauer vermessen zu können. Der aus der Düse austretende Pulverstrahl, kann durch die geometrische Figur eines Kreiskegels, dessen Spitze bei der Düsen Spitze liegt, beschrieben werden. Die zu bestrahlende Glasoberfläche kann als Schnittfläche durch den Kegel angesehen werden. Die dabei entstehende geometrische Figur und deren Größe war in diesem Versuch abhängig von dem Winkel den die Düsen spitze mit der Oberfläche bildete und vom Abstand der Düsen spitze zur Oberfläche. Wurde die Ausrichtung der

Düsen spitze verändert, veränderte sich auch die geometrische Figur. Durch die senkrechte Fixierung der Düsen spitze zur Oberfläche, konnte davon ausgegangen werden, dass der aus der Düse auf die Glasoberfläche auftreffende Pulverstrahl durch die geometrische Figur eines Kreises beschrieben werden konnte, der durch zwei senkrecht aufeinander stehende (vertikal und transversal) Durchmesser vermessen wurde.

### **Breite des Pulverstrahls bei der Präparation einer Furche**

Mit dem im zweiten Versuch verwendeten Modell, konnte die Breite der präparierten Kavitäten in Abhängigkeit von Gerät und Körnung des Pulverstrahls unter praxisähnlichen Bedingungen bestimmt werden. Die KCP Düsen spitze wurde manuell in einem möglichst konstanten Abstand von ca. 1 mm zur Schmelzoberfläche in einer gleichförmigen Bewegung über die zu bestrahlende Oberfläche geführt. Durch die manuelle Bewegung der Düsen der Kavitätenpulverstrahlgeräte wurde der Abstand und der Winkel der Düsen spitzen zur Oberfläche zufällig verändert. Diese durch die manuelle Führung der Düsen spitze hervorgerufene zufällige Variabilität bezüglich Abstand und Winkel bewirkte, wie schon in den Ausführungen zu dem ersten Teilversuch erläutert, eine zufällige Variabilität in der Breite der Kavität. Daher ermöglichte dieser Versuch die Schätzung der Breite der mit den Geräten präparierten Kavitäten unter praxisähnlichen Bedingungen. Dieser Versuch wurde für jedes Gerät und jede Körnung fünfmal wiederholt. Damit durch die Krümmung der Zahnoberflächen der einzelnen Zähne die Breite der Kavität nicht noch zusätzlich beeinflusst wurde, wurde vor Versuchsdurchführung eine plane Schmelzoberfläche geschaffen. Durch diese Vorgehensweise wurde der Versuchsfehler verringert. Um eine möglichst ruhige Handbewegung zu erzielen, lag der Handballen auf der Arbeitsplatte auf. Der Abstand der Düsen spitze von 1 mm zur zu bearbeitenden Zahnoberfläche wurde gewählt, da diese Angabe von den Herstellern als optimaler Arbeitsabstand empfohlen wurde. Durch die manuelle Bewegung der Düsen spitze waren, wie oben erwähnt, leichte Abweichungen des Abstands der Düsen spitze zur Oberfläche möglich. Um die Bestimmung der beobachteten Breite der Furchen nicht durch Berührung oder Überlappung mehrerer Furchen zu erschweren, wurde an jeder Zahnhälfte nur eine Furche durch die einmalige

manuelle Bewegung der Düsen Spitze über die Oberfläche präpariert. Vor Versuchsbeginn wurde jeder Zahnhälfte eine Nummer zugeordnet. Die Reihenfolge der Versuche, d.h. welches Gerät mit welcher Partikelgröße zur Bestrahlung der einzelnen Zahnoberfläche eingesetzt wurde, wurde vor Beginn dieses Versuches an Hand einer Randomisierungsliste festgelegt. Diese Vorgehensweise sollte verhindern, dass sich systematische Fehler, wie zum Beispiel Zeit- oder Lerneffekte, sich nur zum Vorteil oder Nachteil eines einzelnen Gerätes oder einer Körnung auswirkten.

### **5.1.2 Bestimmung der Abtragseffizienz**

In diesem Versuchsmodell wurde die Abtragsleistung der einzelnen Geräte im Hinblick auf den Einfluß von Schmelz und Dentin in Abhängigkeit von Gerät, Modus und Partikelgröße untersucht. Auch bei diesen Teilversuchen wurde vor Versuchsbeginn den im Versuch benutzten Zähnen eine Nummer zugeordnet und entsprechend dem Versuchsdesign eine Randomisierungsliste erstellt. Im ersten Schritt wurde die Abtragsleistung im Schmelz untersucht. Gemäß der vorher erstellten Randomisierungsliste wurde die linguale bzw. bukkale Zahnhälfte so beschliffen, dass eine plane Fläche im Schmelz entstand. Zur Verringerung des zufälligen Fehlers wurde auf den so präparierten Zahnhälften bei gleicher Körnung jeweils eine Präparation mit den zu untersuchenden Geräten durchgeführt und beim Wechsel der Körnung die andere Zahnhälfte benutzt. Für die Untersuchung der Abtragsleistung im Dentin wurde das Verfahren wie oben beschrieben wiederholt, wobei jedoch die beiden Zahnhälften so beschliffen wurden, dass eine plane Fläche im Dentin entstand. Die Abtragsleistung wurde durch Gewichtsvergleich vor und nach Präparation bestimmt. Der Abtrag der Zahnhartsubstanz lag im Milligramm Bereich. Unterschiede im Gewicht der zu messenden Objekte (Zahnhälften vor und nach Präparation), die auf Grund unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes beobachtet werden konnten, lagen in der gleichen Größenordnung. In der Literatur konnten keine Angaben bezüglich der Abhängigkeit des Gewichts der Zahnhartsubstanz von der Trocknungszeit gefunden werden. In dem Versuch wurden die hergestellten Proben vor jeder Messung jeweils sieben Tage in einem Trockenschrank aufbewahrt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da bei kürzeren Trocknungszeiten

als fünf Tagen Gewichtsveränderungen der Proben zwischen den einzelnen Messzeitpunkten beobachtet werden konnten als bei kleinerer Körnung. Erst nach Trocknungszeiten von mehr als fünf Tagen blieb das Gewicht der Proben konstant. Um weitere Fehlerquellen bei der Ermittlung der Abtragsleistung auszuschalten und damit die Bestimmung so präzise wie möglich zu gestalten, wurden die Proben zur Bearbeitung ausschließlich mit einer Pinzette gefasst. So wurden Verunreinigungen, die durch Berührung mit den Fingern hätten entstehen können (Fett, Feuchtigkeit, Schmutzpartikel), vermieden. Damit gewährleistet werden konnte, dass es nur zu einem Abtrag im Schmelz / Dentin kommt, wurden die Präparate langsam mit konstantem Vorschub unter der in der Stabklemme fixierten Düsenspitze bewegt.

### **5.1.3 Gestaltung okklusaler Kavitäten**

In diesem Versuch wurde die Präparationstechnik der Kavitätenpulverstrahlgeräte mit der konventionellen Präparationsmethode (rotes Winkelstück mit einem Diamantschleifkörper) im Hinblick auf die Präparationsdauer verglichen. Um klinisch relevante Situationen zu testen, wurde jeweils mit einem diamantierten, rotierenden Instrument sowie mit den Kavitätenpulverstrahlgeräten okklusale Kavitäten präpariert. Da jeder Zahn ein individuelles Fissurenrelief besitzt, waren Abweichungen in der Ausdehnung sowie Tiefe der einzelnen Kavitäten möglich. Es wurde daher insbesondere darauf geachtet, in etwa gleich große Kavitäten im Bereich der Zentralfissuren herzustellen, um eine Vergleichbarkeit der Präparationsmethoden bezüglich der Präparationsdauer zu gewährleisten. Da von den Herstellern der Kavitätenpulverstrahlgeräte zum Präparieren von Zahnhartsubstanz das Aluminiumoxid Pulver der Körnergröße  $50\mu m$  empfohlen wurde, wurde der Versuch mit den einzelnen Geräten auch nur in dieser Korngröße durchgeführt.

## 5.2 Ergebnisse

### 5.2.1 Bestimmung der Breite des Pulverstrahles

#### Breite des Strahls bei punktförmiger Bestrahlung

Aus den Ergebnissen der punktförmigen Bestrahlung der bearbeiteten Glasoberflächen lässt sich gemäß dem in Abschnitt 5.1.1 dargestellten theoretischen Hintergrund (Kegel-/Strahlensatz) ein Zusammenhang zwischen dem Abstand der Düsen spitzen zur bestrahlten Oberfläche und der Größe der Kavität, in diesem Versuch beschrieben durch den horizontalen und vertikalen Durchmesser, herleiten. Gemäß den obigen Ausführungen konnte bei dem Gerät RondoFlex, sowie dem Gerät Primus-CPE beobachtet werden, dass mit zunehmendem Abstand der Düsen spitze zur Oberfläche auch die Größe der Kavität zunahm (Strahlensatz). Dieser Zusammenhang zwischen Abstand und Größe der Kavität war sowohl für die Körnung  $50\mu\text{m}$  sowie die Körnung  $25\mu\text{m}$  bzw.  $27\mu\text{m}$  zu beobachten. Die Unterschiede zwischen den beim Abstand 1 mm und 3 mm beobachteten Durchmesser betrugen ca. 0,7 mm. Die beobachtbare Variabilität bei Wiederholung des Versuchs unter konstanten Bedingungen, d.h. bei einem fest gewähltem Gerät, einem festen Abstand und einer definierten Körnung betrug maximal ca. 0,3 mm. Bei der Analyse der Daten fanden sich auch Hinweise auf Wechselwirkungen zwischen Gerät und Körnung ( $p < 0,0001$ ) und Körnung und Abstand ( $p < 0,0001$ ). Diese Wechselwirkungen sind möglicherweise durch technische Unterschiede zwischen den Düsen spitzen der beiden Geräte erklärbar. Eine Möglichkeit wäre, dass die Abstände der Austrittsöffnungen für den Sandstrahl bei den einzelnen Geräten unterschiedlich weit von der Düsen spitze entfernt waren und damit der Öffnungswinkel des Kegels, den der austretende Sandstrahl bildete, unterschiedlich breit war. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass die Innendurchmesser der Düsen spitzen unterschiedlich groß waren. Genauere technische Angaben zu dem Aufbau der Düsen spitzen waren trotz mehrmaliger Nachfrage von den Herstellern der Geräte nicht zu erhalten. Laurell et al. beschrieben, dass der Radius bzw. der Durchmesser der präparierten Oberfläche abhängig vom Abstand der Düsen spitze zur Oberfläche war. Dieser Durchmesser



der Kavität nahm proportional zum Abstand der Düsenspitze zu [30]. Die Tatsache, dass die Form des Pulverstrahls geometrisch als Kegel dargestellt werden konnte, bestätigte dieses Ergebnis. Umso größer der Abstand zur Oberfläche wurde, um so größer wurde der Radius der Schnittfläche durch den Kegel, das heißt, um so breiter wurde eine Kavität. Perucci et al. berichteten ebenfalls über das proportionale Verhältnis zwischen Abstand der Düse zur Oberfläche und Größe der Kavität. Zudem beschrieben sie einen langsameren Partikelstrom im Bereich der Außenfläche des Strahlkegels und daraus resultierend abgerundete Kavitätenränder ohne scharfe Winkel [34]. Eine geringere Geschwindigkeit der Partikel beim Auftreffen auf die zu bestrahlende Fläche am Rand im Vergleich zum Strahl in der Mitte ergibt sich auch zum einen aus dem Kegelmodell - Weg auf der Mantelfläche ist länger als in der Mitte - zum anderen aus dem höheren Luftwiderstand für Partikel, die sich auf der Mantelfläche bewegen. Durch die geringere Geschwindigkeit der abrasiven Partikel und niedrigere Konzentration der Partikeldichte zur Kegelperipherie hin lässt sich das Phänomen dieser abgerundeten Kavitätenränder also erklären.

### **Breite des Pulverstrahls bei der Präparation einer Furche**

In dem zweiten Teilversuch wurde unter klinischen Gesichtspunkten eine Kavität manuell hergestellt. Wie oben beschrieben konnte der Pulverstrahl geometrisch als Kegel angesehen werden. Die Oberfläche, auf die der Pulverstrahl auftraf, bildete dem Modell entsprechend eine Schnittfläche durch den Kegel. Durch die Führung der Düsenspitze mit der Hand veränderte sich ungewollt der Winkel und der Abstand zwischen Düsenspitze und Oberfläche. Eine Veränderung des Winkels hat eine Veränderung der elliptischen Form der Schnittfläche und eine Veränderung des Abstands hat eine Veränderung der Größe der Fläche zur Folge. Der Hauptanteil für die zufällige Variabilität des Pulverstrahldurchmessers auf der Oberfläche ergab sich somit aus der Bewegung der Hand bei Führung der Düsenspitze und damit der zufälligen Veränderung des Winkels und des Abstandes. Zur Beschreibung der Variabilität müssten daher eigentlich die beiden Durchmesser der Ellipse bestimmt werden. Da aber die Düse in einer möglichst gleichförmigen gradlinigen Bewegung über die standardisierte plane Oberfläche geführt wurde, war damit die Breite

der Kavität ein Maß für die Fokussierung des Strahls. Der Düsenspitzendurchmesser betrug bei dem Gerät Primus-CPE 0,6 mm und bei dem Gerät RondoFlex 0,65 mm. Die Ergebnisse dieses Versuches zeigten, dass die Kavitäten, präpariert mit dem Gerät Primus-CPE im Mittel etwas breiter als die Kavitäten, die mit dem Gerät RondoFlex präpariert wurden, waren. Es konnte kein Einfluss der Körnung gefunden werden ( $p = 0,3469$ ), sowie keine Wechselwirkung zwischen Gerät und Körnung bezüglich der Breite der Kavität ( $p = 0,8572$ ). Im oben bereits diskutierten Versuch konnte unter den standardisierten Bedingungen des Versuchaufbaus eine Wechselwirkung zwischen den Faktoren Gerät und Körnung beobachtet werden. Man kann davon ausgehen, daß die Unterschiede der Ergebnisse bzw. die Wechselwirkung so gering war, dass sie im klinischen Alltag keine Relevanz findet, und so keine Wechselwirkung in diesem Versuch beobachtet werden konnte.

### **5.2.2 Bestimmung der Abtragseffizienz**

#### **Abtragsleistung im Schmelz/ Dentin**

Die Grundlage für den Substanzabtrag der KCP-Geräte stellte das Zusammenwirken der Körnung des verwendeten Pulvers, die Beschleunigung beziehungsweise die kinetische Energie der Partikel, sowie die Beschaffenheit der zu bearbeiteten Oberfläche dar. Im Schmelz sowie im Dentin war in dieser Studie ein signifikanter Einfluß sowohl des Produktes (Gerät) als auch der Körnung auf die gemessene Abtragsleistung feststellbar. Dies spiegelte sich zunächst bei den ermittelten Werten der Abtragsleistung wieder. Hier zeigte sich, dass bei der kleineren Körnung der abrasiven Partikel ( $25/27 \mu\text{m}$ ) ein höherer Abtrag als bei der Körnung der abrasiven Partikel von  $50 \mu\text{m}$  erzielt wurde. Dieses Ergebnis war sowohl für das Gerät Primus-CPE als auch das Gerät RondoFlex zu beobachten. Das Abtragsvolumen wurde also bei der Verwendung von kleineren Körnungen größer. Die Körnung des Pulvers hatte im Schmelz sowie im Dentin unabhängig von dem Gerät einen Einfluß auf den Abtrag. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass in der selben Bearbeitungszeit bei einer kleineren Körnung des Pulvers eine wesentlich größere Anzahl

von kleineren abrasiven Partikeln durch die Düsenspitze auf die Oberfläche als große abrasive Partikel eines größeren Pulvers transportiert wird. Jeder einzelne Partikel führt zu einem Abtrag von Zahnhartsubstanz. Ein größerer Partikel leistet einzeln betrachtet einen höheren Abtrag als ein kleiner Partikel. Das Verhältnis von Partikelmenge zum Abtragsvolumen des einzelnen Partikels ist bei den beiden Körnungen  $27\mu m / 25\mu m$  und  $50\mu m$  wohl so, dass eine höhere Anzahl an kleinen Partikel einen größeren Abtrag als weniger Partikel der größeren Körnung leistet.

Der Abtrag der abrasiven Partikel war abhängig von dem Gerät, mit dem die Zahnhartsubstanz bearbeitet wurde. Das Gerät Primus-CPE wies im Mittel einen höheren Abtrag als das Gerät RondoFlex auf. Die Düsenspitzendurchmesser der beiden Geräte waren gleich groß und betrugen 0,65 mm, während der Druck, mit dem gearbeitet wurde, bei den Geräten unterschiedlich war. Er betrug bei dem Gerät Primus-CPE 6,5 bar und bei dem Gerät RondoFlex 4,2 bar. Beim Aufprall der Partikel werden kleinste Fragmente aus der Zahnoberfläche herausgesprengt, die durch den Luftstrahl wegtransportiert werden [30]. Werden die abrasiven Aluminiumoxid Partikel mit einem höheren Druck aus der Düsenspitze geschleudert, ist somit die kinetische Energie der einzelnen Teilchen größer, um einen Abtrag an der Zahnoberfläche zu leisten. Da der Austritt aus der Düsenspitze mit einer höheren Geschwindigkeit erfolgt, treffen pro Zeiteinheit auch mehr Partikel auf die Oberfläche auf. Dies könnte erklären, dass das Gerät Primus-CPE einen höheren Abtrag aufwies als das Gerät RondoFlex. Bailey et al beschreiben in ihrer Studie, dass ein größerer Abstand der Düsenspitze zur Zahnoberfläche die Abtragseffizienz herabsetzt. Der Abtrag von Zahnschmelz ist umgekehrt proportional zum Abstand der Düsenspitze zur Zahnoberfläche [1]. Dies korreliert mit dem Ergebniss, dass bei höherem Druck die Abtragseffizienz steigt, denn durch den größeren Abstand der Düsenspitze zur Zahnoberfläche verlieren die Partikel an kinetischer Energie und somit an Abtragseffizienz [1]. Die Abtragseffizienz lag generell im Schmelz höher als im Dentin. Dies zeigte sich sowohl für die Körnung des Aluminiumoxidpulvers  $50\mu m$  als auch  $25\mu m / 27\mu m$ . Je härter die Oberfläche ist, auf die die abrasiven Partikel auftreffen, umso höher ist die Abtragseffizienz [39]. Dies gilt solange die abrasiven Partikel eine größere Härte als die zu bearbeitende Oberfläche aufweisen. Die Härte von Zahnschmelz liegt im Durchschnitt zwischen 250 VH (Vickers-

Härte) an der Schmelz-Dentin-Grenze und 350 VH an der Schmelzoberfläche, während Dentin weniger stark mineralisiert ist und eine wesentlich geringere Härte (60 - 70 VH) aufweist [19]. Eine Erklärung für die geringere Abtragsleistung ist, dass auf Oberflächen mit einer geringeren Härte wie beim Dentin, die einzelnen Partikel abgefedert werden, Energie verlieren und somit einen geringeren Abtrag leisten. Dies wird in einer Studie von Horiguchi et al. bestätigt. Sie fanden in einem Versuch heraus, dass in kariösem Dentin Kavitäten wesentlich flacher waren, als in gesundem Dentin oder Schmelz. Der Abtrag ist also dort geringer. Die kinetisch geladenen Partikel treffen auf dem kariösem Dentin auf, werden durch die erweichte Zahnhartsubstanz gebremst und verlieren an Abtragseffizienz [25].

### **Vergleich der Abtragsleistung im Modus nass/ trocken**

Der Modus nass hatte bei dem Gerät Primus-CPE im Schmelz keinen Einfluß auf die Abtragseffizienz. Dies konnte für die Körnung 50  $\mu$  sowie 25  $\mu\text{m}$  beobachtet werden ( $p = 0,8035$ ). Im Dentin hingegen konnte ein deutlicher Einfluß des Modus gefunden werden ( $p > 0,0001$ ). Hier war der Abtrag von Dentin im Modus „nass“ höher als im Modus „trocken“. Die genaue Rolle des Wassers bei der Verwendung des Kavitätenpulverstrahlgerätes ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Es wird vermutet, dass eine Wasserzufuhr den Substanzabtrag insofern erhöht, dass der Wasserstrahl die auf der Oberfläche gelösten Teilchen bzw. Fragmente schneller wegspült als das durch den Luftstrom möglich ist und so die zu präparierende Fläche schneller erneut für die Abrasivpartikel zugänglich macht [8]. Bildet sich ein Pulverfilm auf der Oberfläche, so könnte dies eine Art „Schutzfilm“ darstellen. Erneut auftreffende Pulverpartikel treffen zunächst noch auf der Oberfläche verbliebene Kristalle, verlieren an Energie und somit an Abtragseffizienz. Andererseits ist es aber auch denkbar, dass der Wasserfilm, der sich auf der Oberfläche bildet, die Energie der Abrasivteilchen vor dem Aufprall auf die Oberfläche dämpft. Somit müsste eine geringere Abtragsleistung im Modus nass als im Modus trocken beobachtet werden können [11]. Das Ergebnis, dass bei der Bearbeitung von Schmelz kein Hinweis auf einen Einfluß des Modus, aber bei der Bearbeitung von Dentin ein Einfluss gefunden

werden konnte, könnte durch die gemeinsame Betrachtung der unterschiedlichen Härte und des Modus erklärt werden. Es ist zu vermuten, dass auf der harten Schmelzoberfläche die Partikel durch den Aufprall eine Richtungsänderung erfahren, sich wieder von der Oberfläche entfernen und somit nicht als Schutzfilm auf der Oberfläche verbleiben. Beim Dentin hingegen werden die Partikel auf Grund der weicheren Oberfläche in ihrer kinetischen Energie abgebremst und verbleiben als Schutzfilm auf der Dentinoberfläche. Die Wasserzufuhr würde hier also den so genannten Schutzfilm wegspülen und so also einen höheren Abtrag im Modus „nass“ erzielen.

### **5.3 Relevanz für die klinische Anwendung**

#### **Vergleich der Kavitätenpulverstrahltechnik mit der konventionellen Methode bezüglich der Bearbeitungszeit**

Der Vergleich der beiden Methoden zur Präparation von Zahnhartsubstanz zeigte deutlich, dass die benötigte Bearbeitungszeit, um eine Kavität definierter Größe zu präparieren, bei der konventionellen Methode mit dem rotierenden Instrument wesentlich geringer als bei der Präparation mit einem KCP Gerät war. Durch die unterschiedlichen Spezifikationen der beiden KCP Geräte war die Präparationszeit mit dem Gerät Primus-CPE etwas kürzer als bei dem Gerät RondoFlex. Dies war aber für den Vergleich mit dem rotierenden Instrument unbedeutend. Durch die taktile Kontrolle bei der Präparation mit dem rotierenden Instrument war ein relativ exaktes Aufziehen der Zentralfissur sowie eine Einschätzung der Kavitätestiefe relativ genau möglich. Da diese taktile Kontrolle bei der KCP- Methode fehlte, kam es hier zu wesentlich uneinheitlicheren, etwas „ausgefransterten“ Kavitätenrändern und sehr unebenen Kavitätenböden. Da bei der KCP Technik harte Materialien stärker als weiche abgetragen werden, ist die Entfernung von zum Beispiel kariösem Dentin schwierig. Während die umgebene gesunde Zahnschubstanz relativ schnell von abprallenden Partikeln abradiert wird, wird von der Karies nur wenig abgetragen. Die Gefahr der versehentlichen, iatrogenen Eröffnung des Pulpenkavums ist

dadurch wesentlich höher als bei rotierenden Instrumenten [3].

Im zahnärztlichen Praxisalltag lässt sich ein KCP Gerät nur eingeschränkt integrieren. Neben den Nachteilen des Verfahrens wie der fehlenden taktilen Kontrolle, der positiven Abhängigkeit der Abtragsleistung von der Härte der zu bearbeitenden Substanz und der Gefahr der Verletzung benachbarter Zähne bei der Präparation approximaler Defekte, ist für den zahnärztlichen Praxisalltag vor allem die Bearbeitungszeit von Bedeutung. Das Verfahren der KCP stellt durch die Möglichkeit einer relativ geräuschfreien, schmerzarmen minimalinvasiven Entfernung von Zahnhartsubstanz gerade für phobische Patienten und Kinder eine Bereicherung zahnärztlicher Behandlungsmöglichkeiten dar; zu beachten ist aber der sehr hohe Zeitaufwand für diese Anwendungen. Die therapeutischen und klinischen Einsatzmöglichkeiten wie Eröffnung von Fissuren, Vorbereiten der Zahnoberfläche für präventive Kompositfüllungen, kleine Kavitäten etc., sind also sowohl unter dem zeitlichen Gesichtspunkt, also der zeitlichen Belastung für den Patienten als auch unter dem zeitlichen und damit wirtschaftlichen Aspekt für den niedergelassenen Zahnarzt zu betrachten. Ein zusätzliches Gerät sollte immer nach Kosten/Nutzen Effizienz unter betriebswirtschaftlichen Aspekten geprüft werden.

### **Bewertung der KCP-Geräte im Hinblick auf streuungsbedingte Schädigungen angrenzender gesunder Zahnhartsubstanz**

Im Vergleich zu rotierenden Instrumenten, bei denen nur im Bereich des behandelten Zahnes Effekt bzw. Abtrag zu beobachten ist, kommt es bei der Arbeit mit den KCP-Geräten durch die Streuung des Pulverstrahles auch zu ungewollten Defekten an den umliegenden Oberflächen. Die Fläche der mikroskopisch kleinen Rauigkeiten, die durch die Streuung des Pulverstrahls an den angrenzenden Oberflächen entstehen können, ist im Wesentlichen abhängig von dem Abstand und der Ausrichtung der Düse zur bearbeiteten Oberfläche, d.h. je größer der Abstand zwischen Gerät und behandelter Oberfläche ist, desto größer wird die Streuung. Desweiteren lässt auch eine nicht exakt orthogonale Ausrichtung des Geräts während der Behandlung den peripheren Pulverstrahl auf eine

größere Fläche auftreffen, so dass die ungewollten Schädigungen der Oberfläche zunehmen. Da die peripheren Partikel des Pulverstrahls nicht im Zentrum des Luftstroms liegen und somit eine niedrigere Geschwindigkeit besitzen, kommt es nicht zu Abtrag sondern lediglich zu mikroskopisch kleinen Verletzungen, die die Zahnoberfläche rau werden lassen. Diese Verletzungen der unmittelbaren Umgebung der Kavität des angrenzenden Schmelzes können zu einer Akkumulation von Plaque führen, die das Entstehen einer erneuten Karies fördert.

Ein weiterer Aspekt im Hinblick auf mögliche streuungsbedingte, unkontrollierbare Schädigungen angrenzender Strukturen ist die fallende Effizienz der Geräte bei niedrigerer Oberflächenhärte. Daher führt die Behandlung der Zahnhartsubstanz nur zu geringen bzw. keinen ungewollten Läsionen der Gingivaoberfläche, sofern diese lediglich dem peripheren Partikelstrom ausgesetzt ist. Die im Vergleich zur Zahnhartsubstanz weiche Gingiva federt die aufprallenden Pulverpartikel ab, so dass das Weichgewebe nicht geschützt werden muss. Die Strahlrichtung sollte nicht in Richtung Parodont gerichtet werden, um wie von den Zahnreinigungsgeräten bekannt die Gefahr eines Emphysems zu vermeiden [39].

## Kapitel 6

# Zusammenfassung

Ziel der Untersuchungen war der Vergleich der beiden KCP-Geräte Primus-CPE und RondoFlex hinsichtlich der Fokussierung des Pulverstrahles sowie der Abtragseffizienz im Schmelz und Dentin. Zusätzlich sollte im Hinblick auf die Anwendung der KCP Technik im Praxisalltag die Präparationsdauer einer Kavität mittels KCP mit der konventionellen Präparationstechnik mittels rotierenden Instrumenten verglichen werden. In einem Teilversuch wurden Glasplatten mit schwarzem Lack versehen. Die Düsenspitzen der beiden Geräte wurden senkrecht zur Glasplatte gerichtet und unter konstantem Druck und konstanter Arbeitszeit eine punktförmige Bestrahlung der Oberfläche vorgenommen. Die Auswertung der Proben wurde unter einem Mikroskop vorgenommen. Um den Einfluß der Geräte und auch der Körnung auf die Breite einer im Schmelz präparierten Kavität zu untersuchen, wurden Proben mit planen Schmelzoberflächen hergestellt. In einem Abstand von ca. 1mm wurden Kavitäten (Furchen) mit je einem Gerät und einer Körnung an der Oberfläche der Schmelzproben präpariert. Diese Proben wurden rasterelektronenmikroskopisch ausgewertet. Bei einer 40fachen Vergrößerung wurden je zwei Teilbereiche der präparierten Oberfläche photographisch dargestellt und vermessen. Zur Bestimmung der Abtragseffizienz wurden menschliche Zähne in eine bukkale und linguale Hälfte geteilt. Es wurde für den Versuch im Schmelz, sowie anschließend für den Versuch im Dentin eine plane Zahnoberfläche in der entsprechenden Zahnhartsubstanz geschaffen. Die Proben



wurden, um den Gewichtsverlust durch den Abtrag genau bestimmen zu können, in einem Trockenschrank getrocknet, und dann das Gewicht bestimmt. In einem Abstand von 1mm wurden die Zahnhälften für 30 sec bestrahlt und der Gewichtsverlust auf einer Analysenwaage bestimmt. Die Abtragsleistung der Geräte wurde in Abhängigkeit der Körnung ( $50\text{ }\mu\text{m}$  und  $25\text{ }\mu\text{m}/27\text{ }\mu\text{m}$ ) im Schmelz sowie Dentin untersucht. Für das Gerät Primus-CPE wurde zusätzlich die Abtragsleistung in Abhängigkeit des Modus (nass/trocken) und der Körnung untersucht.

Zusammenfassend lässt sich darstellen, dass die Kavitätenpulverstrahlgeräte Primus-CPE und RondoFlex bei einem größeren Abstand der Düsenspitze zur zu bearbeitenden Oberfläche eine größere Streuung des Pulverstrahls und damit größere Kavitäten bzw. größere Areale von Substanzabtrag aufwiesen. Ferner zeigten die Untersuchungen, dass die Abtragseffizienz unabhängig vom Gerät bei der Bearbeitung von Zahnhartsubstanz mit feinerem Strahlgut (Aluminiumoxid  $25\text{ }\mu\text{m}/27\text{ }\mu\text{m}$ ) höher war, als die Abtragseffizienz mit grobkörnigerem Strahlgut ( $50\text{ }\mu\text{m}$ ) ( $p < 0,0001$ ). Dieses Ergebnis konnte sowohl im Schmelz als auch im Dentin beobachtet werden. Das Gerät Primus-CPE wies einen signifikant höheren Abtrag von Zahnhartsubstanz auf. Dies ist auf den höheren Arbeitsdruck, durch den die abrasiven Partikel an kinetischer Energie im Vergleich zu dem Gerät RondoFlex gewinnen, zurückzuführen ( $p < 0,0001$ ). Generell war ein höherer Abtrag von Zahnhartsubstanz im Bereich des Zahnschmelzes zu beobachten. Dies war unabhängig von der Körnung  $25\text{ }\mu\text{m}/27\text{ }\mu\text{m}$ ;  $50\text{ }\mu\text{m}$  ( $p < 0,0001$ ) sowie unabhängig vom Gerät zu erkennen. Der Modus nass, welcher für das Gerät Primus-CPE von Interesse war, hatte nur im Bereich des Dentins einen Einfluß auf die Abtragseffizienz ( $p < 0,0001$ ). Hier konnte ein höherer Abtrag als im Modus trocken beobachtet werden. Im Bereich des Zahnschmelzes konnte kein Einfluss des Modus nass aufgezeigt werden ( $p = 0,8035$ ). Bei dem Vergleich der Präparationsmethode der Kavitätenpulverstrahlgeräten mit der konventionellen Technik der rotierenden Instrumenten stellte sich heraus, dass eine wesentlich längere Bearbeitungszeit mit den KCP-Geräten notwendig ist, um eine okklusale Kavität zu präparieren als mit den rotierenden Instrumenten. Die Methode von Präparationen mit Kavitätenpulverstrahlgeräten sollte eine Alternative zur konventionellen Technik mit rotierenden Instrumenten darstellen. Wesentliche Nachteile dieses Verfahrens wie deutlich

eingegrenzte, von der Zugänglichkeit und Ausdehnung abhängige Indikation, fehlende taktile Kontrolle während der Präparation, lassen diese Technik im klinischen Alltag etwas in den Hintergrund treten. Insbesondere die lange Bearbeitungszeit, die benötigt wird, um größere Kavitäten zu präparieren, lässt dieses Verfahren schlecht in die Behandlung integrieren. Gleichwohl stellt das Verfahren eine Bereicherung des Repertoires zahnärztlicher Behandlungsmöglichkeiten dar. Dies gilt vor allem für die Behandlung von phobischen Patienten oder Kindern, die allein schon durch das typische Geräusch rotierender Instrumente verängstigt werden. Es ist für Zahnarzt und Patient durchaus angenehm, dass in solchen Situationen eine Möglichkeit angeboten werden kann, die diese Ängste vermeiden hilft.

## Summary

The goal of this study has been the comparison of both KCP-devices, Primus-CPE and RondoFlex, regarding efficiency in dentin, enamel and scattering of the powder stream. In addition, the duration for the preparation of one cavity using KCP-devices has been compared against conventional rotating instruments.

Glass plates were painted black for one experiment, with the nozzle tips being held orthogonally to the plates during preparation. The surface was treated at a point for constant duration and at constant air stream pressure. Evaluation of both probes was conducted by visual inspection using a microscope. In order to analyze the effect of the devices and the grain on the cavity width, only samples with an even enamel surface were used. Cavities were prepared using each device and each grain type. Both devices used were held a distance of 1 mm to the surface. The samples were then analyzed by scanning elec-

tron micrography and under fortyfold magnification, two areas of the cavities have been visualized and measured.

In order to determine the efficiency of the devices, human teeth were separated into buccal and lingual parts. Only even surfaces of the tooth were required for the experiments and have formed the corresponding samples. Since efficiency of the devices was determined by the loss of weight of the samples, the samples were dried and weighed in order to allow for very high precision. At a distance of 1mm the samples were irradiated and the loss of weight was determined.

The efficiency was determined for grain types of 50  $\mu\text{m}$  and 25  $\mu\text{m}$ -27  $\mu\text{m}$  in both enamel and dentin. In addition, Primus-CPE has been analyzed regarding efficiency of both modes, dry and wet, also the grain type.

To conclude, results indicate that the greater the distance between the tooth surface, both KCP-devices lead to a wider scattering and thus to larger cavities and larger areas of abrasion. Furthermore, the efficiency is higher if the small grain, i.e. 25/27  $\mu\text{m}$ , is used in comparison to the coarse grain, 50  $\mu\text{m}$  ( $p < 0.0001$ ). This result is valid for experiments in both dentin and enamel.

In the experiments Primus-CPE revealed a significantly higher abrasion. This is related to the higher pressure of the air stream ( $p < 0.0001$ ) which leads to higher kinetic energy of the abrading particles in comparison to RondoFlex.

In general, higher rates of abrasion have been detected in enamel, this conclusion is independent of grain-type and device ( $p < 0.0001$ ). Mode wet, which is of interest only for Primus-CPE, reveal a higher rate of abrasion detected in comparison to mode dry. It should be noted that during the preparation of the enamel experiment no contamination of mode wet was detected ( $p = 0.8035$ ).

Finally, comparing KCP-devices to conventional rotating instruments, it was discovered

that significantly longer preparation times are required for cavities by KCP-devices. This method of air abrasion should be regarded as an alternative to conventional methods, with the main disadvantage of conventional air abrasion being limited tactile control, effectiveness being dependent on accessibility and the extent of the area to be prepared. These two difficulties necessitate the use of KCP-devices for clinical purposes, where KCP-devices should be regarded as an enrichment on available methods in dentistry, in particular, for treatment of phobic patients and children, who are frightened by the sound of rotating instruments. The availability of KCP-devices in such situations can be beneficial for dentists but also for patients, where the latter should be less anxious during treatment.

# Literaturverzeichnis

- [1] Bailey, L.R., Phillips, R.W.: Effect of certain abrasive materials on tooth enamel. *J. Dent. Restaurative* 1950;29:740-748
- [2] Barkmeier, W.W., Kelsey, W.P., Blankenau R.J., Peterson, D.S.: Enamel cavosurface bevels finished with ultraspeed instruments. *J. Prosthet. Dent.* 1983; 49:481-484
- [3] Berry, E.A. III, Eakle, W.S., Summit J.B.: AirAbrasion: An old Technologie Reborn. *Compend. Contin. Educ. Dent.* 1999;20:751-764
- [4] Berry, E.A. III, Ward, M.: Bond Strength of resin composite to air abraded enamel. *Quintessence International* 1995; 26:559-562
- [5] Black, R.B.: Technic for nonmechanical preparation of cavities and prophylaxis. *J. Am. Dent. Ass.* 1945;32:955-965
- [6] Boyde, A.: Airpolishing effects on enamel, dentine, cement and bone. *Br. Dent. J.* 1984;156:287-291
- [7] Brockmann, S.L., Scott, R.L., Eick, J.D.: The effect of an air-polishing device on tensile bond strength of a dental sealant. *Quintessence International* 1989; 20:211-217
- [8] Zu, J.B., Burstein, G.T., Hutchings, I.M.: A comperative study on the slurry erosion and free-fall particle erosion of aluminium. *Wear* 1991;149:73-84
- [9] Christensen, G.J.: Air abrasion tooth cutting: State of the art. *J. Am. Dent. Assoc.* 1998;129:484-485

- [10] Christensen, G.J.: Initial carious lesion: when should they be restored? *J. Am. Dent. Assoc.* 2000;131:1760-1762
- [11] Clark, H., Burmeister, L.: The influence of the squeeze-film on particle impact velocities in erosion. *Int. J. of impact Engn.* 1992;12:415-426
- [12] Douvitsas, G.: Effect of Cavity design on gap formation in class II composite resin restorations. *J. Prosthet. Dent.* 1991;65:475-479
- [13] Epstein, S.: Analysis of air abrasive procedures in dental practice. *Am. Dent. Assoc.* 1951;43:578-582
- [14] Elderton, R.J.: New approaches to cavity design - with special reference to the class-II lesion. *Br. Dent. J.* 1984;157:421-427
- [15] Feilzer, A., De Gee, A., Davidson, C.: Setting stress in composite resin restoratives in relation to configuration of the restoration. *J. Dent. Res.* 1987;66:1636-1639
- [16] von Fraunhofer, J.A., Adachi, E., Barnes, D.M., Romberg, E.: The Effect of Tooth Preparation on Microleakage Behavior. *Operative Dent.* 2000;25:526-533
- [17] Goto, G., Zhang, Y.: Research on application of kinetic energy into pediatric dentistry, report 1SEM observation of prepared cavity by kinetic instrumentation. *J. Jap. Pediatric. Dent.* 1995; 33:129-137
- [18] Goto, G., Zhang, Y.: Kinetic cavity preparation: protection of the cavo-surface enamel. *J. clin. Pedia. Dent.* 1996; 21:61-65
- [19] Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. *Urban und Fischer Verlag* 1999;2:1-11
- [20] Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. *Urban und Fischer Verlag* 1999;2:104-105
- [21] Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. *Urban und Fischer Verlag* 1999;2:107-108
- [22] Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. *Urban und Fischer Verlag* 1999;2:108-109

- [23] Hicks, M.J., Parkins, F.M., Flaitz, C.M.: Kinetic cavity preparation effects on secondary caries formation around resin restorations: A polarized Light microscopic in vitro evaluation. *J. Dent. f. Children* 2001;68:115-121
- [24] Höffler, K.-R.: Beitrag nicht nur zum zahnmedizinischen Erfolg. *DZW Spezial* 1999;7:32-33
- [25] Horiguchi, S., Yamada, T., Inokoshi, S., Tagami, J.: Selective Caries Removal with Air Abrasion. *Operative Dentistry* 1998;23:236-243
- [26] Jahn, K.R., Geitel, B., Kostka, E., Roulet, J.F.: Kinetische Kavitätenpräparation - kein Ersatz für Schmelzätzung. *Quintessenz* 1999;12:1235-1240
- [27] Jahn, K.R., Geitel, B., Roulet, J.F.: Tensile bond strength of composite to air-abraded enamel. *J. Adhesiv Dent.* 1999; 1:25-30
- [28] Jahn, K.R., Geitel, B., Zimmer, S., Barthel, C.R., Roulet, J.F.: Kinetic Cavity Preparation - Hit or Flop? *Ann Roy Australas Coll Dent Surg* 2002;16:26-29
- [29] Laurell, K.A., Lord, W., Beck, M.D.: Kinetic cavity preparation effects on bonding to enamel and dentin. *J. Dent. Res.* 1993; 72:283-295
- [30] Laurell, K.A., Hess, J.A.: Scanning electron micrographic effects of air-abrasion cavity preparation on human enamel and dentin. *Quintessence International* 1995;26/2:139-144
- [31] Laurell, K.A., Carpenter, W., Daugherty, D., Beck, M.: Histopathologic effects of kinetic cavity preparation for the removal of enamel and dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;80:214-225
- [32] Leckel, M., Lenz, P., Gilde, H.: Vergleich zweier Pulverstrahlsysteme zur Zahnreinigung. *ZWR* 1989;98:518-521
- [33] Lehmann, K., Hellwig, E., Einführung in die restaurative Zahnheilkunde. Ein Lehrbuch für den propädeutischen Studienabschnitt, 7. Auflage, *Urban und Fischer*

- [34] Peruchi, C., Santos-Pinto, L., Santos-Pinto, A., Silva, E.B.E.: Evaluation of cutting patterns produced in primary teeth by an air-abrasion system. *Quintessence International* 2002;33:279-283
- [35] Roeder, L., Berry, E., You, C., Powers, J.: Bond Strength of Composite to Air-abraded Enamel and Dentin. *Operative Dentistry* 1995;20:186-190
- [36] Santos-Pinto, L., Peruchi, C., Marker, V.A., Cordeiro, R.: Effect of handpiece tip design on the cutting efficiency of an air abrasion system. *Am. J. Dent.* 2001;14:397-401
- [37] Santos-Pinto, L., Peruchi, C., Marker, V.A., Cordeiro, R.: Evaluation of Cutting Patterns Produced with Air-Abrasion Systems Using Different Tip Designs. *Operative Dent.* 2001;26:308-312
- [38] Santos-Pinto, L.A.: Avaliação da efetividade de corte do sistema de preparo por abrasão a ar em dentes permanentes. Estudo in vitro, [thesis]. Araraquara, Brazil: State University of Sao Paulo, 2000
- [39] Scholz, V.: Air Abrasion - Mehr als eine wiederentdeckte Präparationstechnik. *Zahnarzt Magazin* 2001;2:26-32
- [40] Suhsmann, S., Staudinger, S., Liberda, R., Wernisch, J., Matejka, M.: The effect of various methods of professional tooth cleaning on hard dental tissues. *Z. Stomatol.* 1986;83:69-78
- [41] Wiedemann, W., Klinger, H.G., Hübners, B., Topitsch, F.: Sandstrahlen statt Anätzen? *Dtsch. Zahnrztl. Z.* 1982;37:904-907
- [42] White J.M., Eakle, W.S.: Rationale and treatment approach in minimally invasive dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.* 2000; 131:13S-19S



## Anhang A

# Tabellarische Darstellung der Messergebnisse

Tabelle A.1: Parameter zur Beschreibung der Verteilung der beobachteten horizontalen Durchmesser [mm], der bestrahlten punktförmigen Fläche in Abhängigkeit von dem Gerät, der Körnung und dem Abstand der Düse zur Oberfläche

Gerät	Körnung	Abstand	n	Mini.	1.Quar.	Median	3.Quar.	Maxi.	MW	MW-2s	MW+2s
Rondoflex	27 $\mu m$	1 mm	15	0.803	0.851	0.897	0.951	0.987	0.896	0.777	1.015
		2 mm	15	1.023	1.058	1.123	1.150	1.308	1.116	0.976	1.255
		3 mm	15	1.267	1.419	1.498	1.569	1.608	1.479	1.277	1.682
	50 $\mu m$	1 mm	15	0.946	0.961	0.994	1.084	1.217	1.027	0.869	1.186
		2 mm	15	1.202	1.261	1.270	1.360	1.431	1.296	1.159	1.433
		3 mm	15	1.537	1.587	1.701	1.846	2.140	1.746	1.393	2.098
Primus CPE	25 $\mu m$	1 mm	15	0.877	0.899	0.921	0.958	0.987	0.928	0.861	0.995
		2 mm	15	1.069	1.158	1.206	1.215	1.310	1.189	1.072	1.306
		3 mm	15	1.396	1.429	1.458	1.467	1.560	1.458	1.373	1.542
	50 $\mu m$	1 mm	15	0.804	0.824	0.845	0.902	0.988	0.861	0.751	0.972
		2 mm	15	0.917	0.952	1.013	1.138	1.179	1.030	0.849	1.210
		3 mm	15	1.503	1.525	1.570	1.682	1.716	1.597	1.444	1.750

Die erste Spalte kennzeichnet die benutzten Geräte, die zweite die Körnung und die dritte Spalte den jeweiligen Abstand der Düse von der zu bestrahlenden Oberfläche. Die 4. Spalte gibt den jeweiligen Stichprobenumfang an, die 5. den kleinsten in der Stichprobe beobachteten Wert (Mini.), die 6., 7. und 8. Spalten kennzeichnen das 1. (1.-Quar.), 2. (2.-Quar. =Median) und 3. (3.-Quar.) Quartil; die 9. Spalte gibt den größten in der Stichprobe beobachteten Wert (Maxi.) an und die 10., 11., und 12., Spalte geben den arithmetischen Mittelwert (MW) und die untere (MW-2s) und obere (MW+2s) Grenze des 2s-Intervalls (enthält unter der Annahme, dass das Merkmal normalverteilt ist ca.95% der beobachteten Werte der Stichprobe) an.

Tabelle A.2: Parameter zur Beschreibung der Verteilung der beobachteten vertikalen Durchmesser [mm], der bestrahlten punktförmigen Fläche in Abhängigkeit von dem Gerät, der Körnung und dem Abstand der Düse zur Oberfläche

Gerät	Körnung	Abstand	n	Mini.	1.-Quar.	Median	3.-Quar.	Maxi.	MW	MW-2S	MW+2S
Rondoflex	27 $\mu m$	1 mm	15	0.833	0.865	0.912	0.935	0.966	0.903	0.820	0.985
		2 mm	15	0.975	1.032	1.065	1.154	1.290	1.093	0.926	1.259
		3 mm	15	1.254	1.392	1.421	1.543	1.564	1.440	1.242	1.638
	50 $\mu m$	1 mm	15	0.930	0.975	0.996	1.053	1.171	1.019	0.864	1.175
		2 mm	15	1.155	1.251	1.281	1.363	1.447	1.298	1.125	1.471
		3 mm	15	1.513	1.577	1.668	1.800	2.122	1.708	1.401	2.015
Primus CPE	25 $\mu m$	1 mm	15	0.998	1.058	1.096	1.132	1.998	1.147	0.666	1.628
		2 mm	15	1.258	1.369	1.395	1.451	1.585	1.411	1.255	1.566
		3 mm	15	1.634	1.696	1.721	1.754	1.837	1.727	1.619	1.834
	50 $\mu m$	1 mm	15	0.847	0.897	1.020	1.137	1.195	1.031	0.790	1.272
		2 mm	15	1.025	1.160	1.239	1.359	1.437	1.253	1.018	1.488
		3 mm	15	1.637	1.694	1.761	1.811	1.914	1.755	1.594	1.915

Die erste Spalte kennzeichnet die benutzten Geräte, die zweite die Körnung und die dritte Spalte den jeweiligen Abstand der Düse von der zu bestrahlenden Oberfläche. Die 4. Spalte gibt den jeweiligen Stichprobenumfang an, die 5. den kleinsten in der Stichprobe beobachteten Wert (Mini.), die 6., 7. und 8. Spalten kennzeichnen das 1. (1.-Quar.), 2. (2.-Quar. =Median) und 3. (3.-Quar.) Quartil; die 9. Spalte gibt den größten in der Stichprobe beobachteten Wert (Maxi.) an und die 10., 11., und 12., Spalte geben den arithmetischen Mittelwert (MW) und die untere (MW-2s) und obere (MW+2s) Grenze des 2s-Intervalls (enthält unter der Annahme, dass das Merkmal normalverteilt ist ca.95% der beobachteten Werte der Stichprobe) an.

Tabelle A.3: Parameter zur Beschreibung der Verteilung der beobachteten Kavitätenbreiten [mm] in Abhängigkeit von dem Gerät, der Körnung bei einem konstanten Abstand der Düse zu der planen Schmelzoberfläche von ca. 1 mm (Bestimmt mit 40-facher Vergrößerung)

Gerät	Körnung	n	Mini.	1.-Quar.	Median	3.-Quar.	Maxi.	MW	MW-2S	MW+2S
Rondoflex	27 $\mu m$	6	0,678	0,690	0,717	0,742	0,768	0,719	0,648	0,789
	50 $\mu m$	6	0,594	0,639	0,668	0,761	0,852	0,697	0,506	0,888
Primus CPE	25 $\mu m$	6	0,781	0,804	0,858	0,952	0,968	0,871	0,732	1,011
	50 $\mu m$	6	0,755	0,781	0,823	0,865	0,936	0,831	0,699	0,962

Die erste Spalte kennzeichnet die benutzten Geräte und die zweite die Körnung. Die 3. Spalte gibt den jeweiligen Stichprobenumfang an, die 4. den kleinsten in der Stichprobe beobachteten Wert (Mini.), die 5., 6. und 7. Spalten kennzeichnen das 1. (1.-Quar.), 2. (2.-Quar. =Median) und 3. (3.-Quar.) Quartil; die 8. Spalte gibt den größten in der Stichprobe beobachteten Wert (Maxi.) an und die 9., 10. und 11. Spalte geben den arithmetischen Mittelwert (MW) und die untere (MW-2s) und obere (MW+2s) Grenze des 2s-Intervalls (enthält unter der Annahme, dass das Merkmal normalverteilt ist ca.95% der beobachteten Werte der Stichprobe) an.

Tabelle A.4: Parameter zur Beschreibung der Verteilung der beobachteten Abtragsleistungen [mg] im Schmelz in Abhängigkeit von dem Gerät, der Körnung bei einem konstanten Abstand der Düse zur Oberfläche von ca. 1 mm

Gerät	Körnung	n	Mini.	1.-Quar.	Median	3.-Quar.	Maxi.	MW	MW-2S	MW+2S
Rondoflex	27 $\mu m$	14	2.810	3.440	3.790	5.220	6.620	4.290	1.973	6.607
	50 $\mu m$	14	2.010	2.550	2.635	2.860	5.090	2.806	1.344	4.268
Primus CPE	25 $\mu m$	14	4.330	4.920	5.270	5.890	7.450	5.499	3.770	7.229
	50 $\mu m$	14	2.350	2.910	3.285	3.610	7.130	3.437	1.109	5.765

Die 1. Spalte kennzeichnet die benutzten Geräte und die 2. die Körnung. Die 3. Spalte gibt den jeweiligen Stichprobenumfang an, die 4. den kleinsten in der Stichprobe beobachteten Wert (Mini.), die 5., 6. und 7. Spalten kennzeichnen das 1. (1.-Quar.), 2. (2.-Quar. =Median) und 3. (3.-Quar.) Quartil; die 8. Spalte gibt den größten in der Stichprobe beobachteten Wert (Maxi.) an und die 9., 10. und 11. Spalte geben den arithmetischen Mittelwert (MW) und die untere (MW-2s) und obere (MW+2s) Grenze des 2s-Intervalls (enthält unter der Annahme, dass das Merkmal normalverteilt ist ca.95% der beobachteten Werte der Stichprobe) an.

Tabelle A.5: Parameter zur Beschreibung der Verteilung der beobachteten Abtragsleistungen im Dentin in Abhängigkeit von dem Gerät und der Körnung bei einem konstanten Abstand der Düse zur Oberfläche von ca. 1 mm und einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden

Gerät	Körnung	n	Mini.	1.-Quar.	Median	3.-Quar.	Maxi.	MW	MW-2S	MW+2S
Rondoflex	27 $\mu m$	14	1.870	2.760	3.440	3.890	4.840	3.449	1.654	5.245
	50 $\mu m$	14	0.880	1.420	1.680	2.200	3.100	1.816	0.489	3.144
Primus	25 $\mu m$	14	4.090	4.960	5.420	5.950	7.280	5.503	3.765	7.240
CPE	50 $\mu m$	14	1.670	2.100	2.815	3.200	3.950	2.726	1.337	4.116

Die erste Spalte kennzeichnet die benutzten Geräte und die zweite die Körnung. Die 3. Spalte gibt den jeweiligen Stichprobenumfang an, die 4. den kleinsten in der Stichprobe beobachteten Wert (Mini.), die 5., 6. und 7. Spalten kennzeichnen das 1. (1.-Quar.), 2. (2.-Quar. =Median) und 3. (3.-Quar.) Quartil; die 8. Spalte gibt den größten in der Stichprobe beobachteten Wert (Maxi.) an und die 9., 10. und 11. Spalte geben den arithmetischen Mittelwert (MW) und die untere (MW-2s) und obere (MW+2s) Grenze des 2s-Intervalls (enthält unter der Annahme, dass das Merkmal normalverteilt ist ca.95% der beobachteten Werte der Stichprobe) an.

Tabelle A.6: Parameter zur Beschreibung der Verteilung der beobachteten Abtragsleistung [mg] im Schmelz in Abhängigkeit von der Körnung und dem Modus bei einem konstanten Abstand der Düse zur Oberfläche von ca. 1 mm und einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden

Körnung	Modus	n	Mini.	1.Quar.	Median	3.Quar.	Maxi.	MW	MW-2S	MW+2S
25 $\mu m$	trocken	14	4.330	4.920	5.270	5.890	7.450	5.499	3.770	7.229
	nass	7	4.390	4.750	4.910	6.870	8.410	5.664	2.753	8.575
50 $\mu m$	trocken	14	2.350	2.910	3.285	3.610	7.130	3.437	1.109	5.765
	nass	7	2.540	2.990	3.620	3.830	4.260	3.427	2.261	4.593

Die erste Spalte kennzeichnet die benutzte Körnung und die zweite den Modus. Die 3. Spalte gibt den jeweiligen Stichprobenumfang an, die 4. den kleinsten in der Stichprobe beobachteten Wert (Mini.), die 5., 6. und 7. Spalten kennzeichnen das 1. (1.-Quar.), 2. (2.-Quar. =Median) und 3. (3.-Quar.) Quartil; die 8. Spalte gibt den größten in der Stichprobe beobachteten Wert (Maxi.) an und die 9., 10. und 11. Spalte geben den arithmetischen Mittelwert (MW) und die untere (MW-2s) und obere (MW+2s) Grenze des 2s-Intervalls (enthält unter der Annahme, dass das Merkmal normalverteilt ist ca.95% der beobachteten Werte der Stichprobe) an.

Tabelle A.7: Parameter zur Beschreibung der Verteilung der beobachteten Abtragsleistungen im Dentin in Abhängigkeit von der Körnung und dem Modus bei einem konstanten Abstand der Düse zur Oberfläche von ca. 1 mm und einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden

Körnung	Modus	n	Mini.	1.Quar.	Median	3.Quar.	Maxi.	MW	MW-2S	MW+2S
25 $\mu m$	trocken	14	4.090	4.960	5.420	5.950	7.280	5.503	3.765	7.240
	nass	7	7.350	7.600	8.330	8.480	9.120	8.227	7.053	9.402
50 $\mu m$	trocken	14	1.670	2.100	2.815	3.200	3.950	2.726	1.337	4.116
	nass	7	3.890	3.970	4.210	4.380	4.500	4.170	3.718	4.622

Die erste Spalte kennzeichnet die benutzte Körnung und die zweite den Modus. Die 3. Spalte gibt den jeweiligen Stichprobenumfang an, die 4. den kleinsten in der Stichprobe beobachteten Wert (Mini.), die 5., 6. und 7. Spalten kennzeichnen das 1. (1.-Quar.), 2. (2.-Quar. =Median) und 3. (3.-Quar.) Quartil; die 8. Spalte gibt den größten in der Stichprobe beobachteten Wert (Maxi.) an und die 9., 10. und 11. Spalte geben den arithmetischen Mittelwert (MW) und die untere (MW-2s) und obere (MW+2s) Grenze des 2s-Intervalls (enthält unter der Annahme, dass das Merkmal normalverteilt ist ca.95% der beobachteten Werte der Stichprobe) an.

## Anhang B

### Danksagung

Herrn Prof. Dr. M. Jung danke ich die Überlassung des Themas und die vorzügliche Betreuung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Bei Herrn Bethge bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Entwicklung der REM-Aufnahmen. Ein herzliches Danke auch Frau Maier für die Betreuung und die anschauliche Einführung in die Benutzung des Rasterelektronenmikroskopes.

Mein Dank gilt ferner meiner Familie und im Besonderen meinem Vater, die mir bei der Anfertigung dieser Arbeit stets eine wertvolle und geduldige Hilfe war.

# Materialliste

- Mat. 1 Glasobjektträger, geschnitten/ Mattrand, 76 x 26 x 1 mm, Menzel Gläser, Braunschweig, D
- Mat. 2 Laborhebebühne Swiss Boy 115, Rudolf Grauer AG, Degersheim, CH
- Mat. 3 Glasobjektträger, geschnitten/ Mattrand, 76 x 26 x 1 mm, Menzel Gläser, Braunschweig, D
- Mat. 4 Stereomikroskop Stemi Sv 6, Snv.-Nr. 138824 00/90, Zeiss, Göttingen, D
- Mat. 5 Tymol Pulver, Fluka Chemie AG Buchs, CH
- Mat. 6 Exakt Trennschleifsystem, Exakt-Apparatebau O. Herrmann, Norderstedt, D
- Mat. 7 Fixationskleber Technovit 7230 VLC Kulzer-Exakt Wertheim, D
- Mat. 8 Polymerisationslichtgerät Translux CL Kulzer Wertheim, D
- Mat. 9 Plexiglasobjektträger 5 x 10 cm, Exakt-Apparatebau O. Herrmann Norderstedt, D
- Mat. 10 Vakuumpumpe Typ N022 AN 18 , Exakt-Apparatebau O. Herrmann Norderstedt, D
- Mat. 11 Rasterelektronenmikroskop, PSEM 500, Philips, Niederlande
- Mat. 12 Trockenschrank, Heraeus Brutschrank Typ B 5060 E, Hanau, D
- Mat. 13 Spezialkleber Leit C nach Göcke, Neubauerchemie, Münster, D
- Mat. 14 Objektträger, Rasterteller Plano, W- Plannet GmbH, Wetzlar, D
- Mat. 15 Sputtergerät Typ SCD 040, Firma Balzer, Lichtenstein
- Mat. 16 Reagenzgläser No./Ref. 55.468 Sastedt AG + Co Nümbrecht, D
- Mat. 17 S/W Negativfilm, TMAX 100 pro, Stuttgart, D
- Mat. 18 Trockenschrank, Heraeus Brutschrank Typ B 5060 E, Hanau, D
- Mat. 19 Pinzette, London College DA 241 R Aesculap Tuttlingen, D
- Mat. 20 Analysenwaage AX 205 Delta Range, Mettler Toledo, Giessen, D
- Mat. 21 Stativ Typ Bochem, Labomeca, Labor Brand, Giessen, D
- Mat. 22 Mikropräparationszylinder 835 KRM 31410 Komet / Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, D
- Mat. 23 24 LN Intramatic Lux 2, KaVo, Biberach-Riss, D



Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten.